



ESTUDO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA E ARBUSTIVA ADEQUADA A
PROJETOS DE ENGENHARIA NATURAL EM PORTUGAL

CARLO BIFULCO

ORIENTADOR: Doutor Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego

COORIENTADORA: Doutora Ana Luísa Brito dos Santos Sousa Soares

COORIENTADOR: Doutor João Manuel Ribeiro dos Santos Bento

TESE APRESENTADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA FLORESTAL E DOS RECURSOS NATURAIS

LISBOA 2015

ESTUDO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA E ARBUSTIVA ADEQUADA A
PROJETOS DE ENGENHARIA NATURAL EM PORTUGAL

CARLO BIFULCO

ORIENTADOR: Doutor Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego

COORIENTADORA: Doutora Ana Luísa Brito dos Santos Sousa Soares

COORIENTADOR: Doutor João Manuel Ribeiro dos Santos Bento

TESE APRESENTADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA FLORESTAL E DOS RECURSOS NATURAIS

JÚRI

Presidente: Doutor António José Guerreiro de Brito, Professor Associado com Agregação,
Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Fabrício Jaques Sutili, Professor Adjunto,
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Doutor Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego,
Professor Associado com Agregação, Instituto Superior de Agronomia,
Universidade de Lisboa (orientador);

Doutora Isabel Alexandra Joaquina Ramos, Professora Auxiliar,
Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora;

Doutora Isabel Loupa Ramos, Professora Auxiliar,
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa;

Doutor Nuno Renato da Silva Cortez, Professor Auxiliar,
Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.

LISBOA 2015

AGRADECIMENTOS

Esta tese de doutoramento, embora tenha apenas um autor, é o resultado de inúmeras observações, sugestões, correções e ajudas.

Por isso esta secção de agradecimentos, muito mais que uma formalidade ou um dever moral, é sobretudo o resultado de uma sincera vontade de manifestar o meu reconhecimento a todas as pessoas que contribuíram para tornar possível este trabalho. A todos muito, muito obrigado.

Em particular, um agradecimento especial:

- Ao meu orientador Professor Francisco Castro Rego, que acreditou na engenharia natural e me acompanhou neste e noutros desafios nos quais me envolvi no passado e que espero possa continuar a envolver-me no futuro;
- Ao Professor José Carlos Augusta da Costa pela colaboração prestada no capítulo 3, pela ajuda na identificação das espécies herbáceas encontradas no desenvolvimento deste estudo e pelo interesse geral demonstrado neste trabalho;
- Aos meus coorientadores Professores Ana Luísa Soares e João Bento, por terem acreditado que engenharia natural poderia ser uma mais-valia;
- À Ana Cristina Martins, Maria João Nunes, Vera Ferreira, Lara Martins, Ana Marta Mota de Infraestruturas de Portugal por acreditarem que a engenharia natural poderia ser uma solução e permitirem a implementação de um projeto no talude do nó de Malveira da A21, consentindo a verificação em obra deste trabalho de investigação;
- Aos amigos Gianluigi Pirrera e Giuseppe Guerrera por me terem envolvido na proposta e no desenvolvimento do projeto *Ingegneria naturalistica per la progettazione paesaggistica in aree urbane e periurbane caratterizzate da clima mediterraneo* pelo programa *Messaggeri per la Conoscenza*;
- Ao Presidente do parque nacional do Vesúvio, Ugo Leone e ao seu Diretor Gennaro Esposito, por terem autorizado e apoiado o desenvolvimento de uma parte deste trabalho que decorreu naquele parque nacional;
- À Professora Maria Helena Almeida por ter autorizado o uso da workstation WinRhizo do Departamento Florestal do ISA;

- Ao Professor Francisco Abreu pelas suas sugestões sobre a análise da chuva em Lisboa;
- Ao Pasquale Giugliano, coautor da comunicação base do capítulo 3;
- À Carla Faria e Anabela Matos por terem apoiado a preparação e o desenvolvimento dos ensaios implementados na Tapada da Ajuda;
- À Carla Moreira e Célia Fontes por ter apoiado a preparação e o desenvolvimento dos ensaios levados a cabo em Santo Tirso;
- À Anabela Pereira, pelo interesse geral demonstrado neste trabalho de investigação e pela colaboração no trabalho de campo e de laboratório;
- À Leónia Nunes, pelo interesse geral demonstrado neste trabalho de investigação e pela colaboração na revisão dos textos;
- Aos estagiários do programa *Messaggeri per la conoscenza*: Roberta Calvo, Giuseppe Conti, Filippo Rizzo, Alessandro Tagliabue, Giulia Trombino, pela colaboração no trabalho de campo e de laboratório;
- Ao Giovanni Romano pelo apoio logístico no parque nacional do Vesúvio;
- Ao Rogério Alves, aos sapadores florestais de Santo Tirso e aos jardineiros da tapada da Ajuda pela ajuda na instalação dos ensaios;
- À Ana Ferreira de Almeida, Massimo Pepe, Anna Parente, Mário Tavares, a Vasco Silva pelas ocasiões de discussão sobre alguns temas deste trabalho;
- A este país, Portugal, pela forma como me acolheu, fazendo de mim um seu admirador inabalável;
- À Isabel, minha companheira dos momentos mais felizes e mais difíceis deste trabalho e da minha vida, pela inextinguível colaboração recebida na construção desta tese.

RESUMO

A Engenharia Natural (EN) usa as raízes das plantas no reforço e proteção dos solos, aproveitando os seus recursos endógenos, utilizando uma energia renovável e promovendo a aceleração da sucessão ecológica. Esta técnica, apesar de pouco divulgada em Portugal, demonstra ser uma boa alternativa ao uso do betão na retenção de solo em taludes e encostas, áreas que se caracterizam pela existência de fatores edáficos e de humidade limitantes.

Foram estudadas árvores e arbustos da flora de Portugal continental no sentido de se obter um conjunto de espécies, ainda não utilizadas em projetos de EN, com suposta capacidade de propagação vegetativa. Foram selecionadas como espécies candidatas a submeterem-se a ensaios, aquelas que apresentaram ampla distribuição geográfica, demonstrando, aparentemente, maior utilidade em todo o território de Portugal continental.

Os resultados quantitativos do enraizamento adventício e das características biotécnicas dos sistemas radiculares das quatro espécies testadas, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L., permitem confirmar que todas as quatro espécies se adaptam aos projetos de EN, e ainda, que existe uma relação positiva entre o desenvolvimento da parte aérea e da parte hipogeia das plantas, com particular destaque para as novas raízes.

Palavras-chave: Engenharia Natural (EN); flora de Portugal continental; espécies lenhosas; enraizamento adventício; eficácia ecológica da EN.

ABSTRACT

(RESEARCH ON SUITABLE TREES AND SHRUBS FOR SOIL BIOENGINEERING PROJECTS IN PORTUGAL)

Soil Bioengineering (SB) uses plant roots to strengthen and protect ground soil, taking advantage of its endogenous resources, using a renewable source of energy and promoting ecological succession acceleration. This technique, poorly diffused in Portugal, shows to be a valid alternative to the use of concrete to maintain soil on slopes and hillsides, areas characterized by the existence of limiting conditions about soils and moisture.

Trees and shrubs of the Portuguese mainland flora were studied in order to obtain a set of species, not yet used in SB projects which are capable of vegetative propagation. Species with wide geographical distribution in mainland Portugal were selected from that set as candidate to be tested.

This thesis presents results of adventitious rooting measurements and biotechnical characteristics of the root systems of the four tested plant species, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L. These outcomes confirm that all those species are adapted to SB projects and also that there is a positive relationship between the above ground development of plants and the below ground elements, namely the new roots.

Key-words: Soil Bioengineering (SB); mainland Portugal flora; woody species; adventitious rooting; SB ecological effectiveness.

RESUMO ALARGADO

A Engenharia Natural (EN) usa as raízes das plantas no reforço e proteção dos solos, aproveitando os seus recursos endógenos, utilizando uma energia renovável e promovendo a aceleração da sucessão ecológica. Esta técnica, apesar de pouco divulgada em Portugal, demonstra ser uma boa alternativa ao uso do betão em taludes e encostas, zonas que se caracterizam pela existência de fatores edáficos e de humidade limitantes.

Este estudo é uma contribuição para o desenvolvimento, em território português, da técnica de EN, aproveitando o conhecimento profissional acumulado do autor enquanto diretor do parque nacional do Vesúvio, Itália, onde foram executados projetos durante sete anos (1998 a 2005) com um montante de cerca de três milhões de euros. Nesta linha de pensamento, foram estudadas árvores e arbustos da flora de Portugal continental no sentido de se obter um conjunto de espécies, ainda não utilizadas em projetos de EN, com suposta capacidade de propagação vegetativa. Do conjunto obtido, foram selecionadas e identificadas como espécies candidatas, aquelas que, pela sua característica de ampla distribuição geográfica, demonstraram, aparentemente, ter maior utilidade em todo o território de Portugal continental.

Em termos teóricos, inicialmente analisou-se o estado da arte da EN em Portugal comparando-a com o contexto Europeu. Da mesma forma foi avaliada a natureza das suas aplicações no país. Expuseram-se as principais diferenças construtivas e a sua relação com as distintas características climáticas da região centro-europeia, local onde inicialmente se desenvolveram os modelos e os esquemas da EN e onde as técnicas foram mais amplamente difundidas e utilizadas. Reportou-se a eficácia mecânica e ecológica de projetos realizados na Europa centro-mediterrânea - caso particular do parque nacional do Vesúvio - caracterizado por um clima semelhante ao de Portugal.

Em termos práticos, decorrente do trabalho de investigação, foram executados no campo testes sobre o enraizamento adventício ao longo do caule enterrado de quatro espécies de plantas, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L., instaladas segundo os esquemas anteriormente utilizados em outros países mediterrâneos.

Nos ensaios de campo cada planta foi colocada num saco cilíndrico, com o fim de facilitar a extração e de representar a real disposição e a densidade usual

das plantas na construção de um “muro vivo de suporte”. As dificuldades na extração dos sacos, devido ao entrosamento das raízes que os interligavam, sugerem a conceção de um novo esquema construtivo de EN, o qual se poderia nomear *tubo verde*.

Os resultados quantitativos do enraizamento adventício e das características biotécnicas dos sistemas radiculares das quatro espécies testadas, *F. angustifolia*, *S. nigra*, *R. officinalis*, *V. tinus*, permitem confirmar que todas as quatro espécies se adaptam aos projetos de EN, e ainda, que existe uma relação positiva entre o desenvolvimento da parte aérea e da parte hipogea das plantas, com particular destaque para as novas raízes. As espécies testadas pertencem à flora do continente português, mas encontram-se difundidas numa vasta área da região mediterrânea. Os resultados deste processo de investigação contribuem para o desenvolvimento da EN e da sua eficácia não só em Portugal, mas numa área muito mais alargada.

Existe, portanto, um grande potencial exploratório no uso da EN que não deverá ser descurado, promovendo-se a sua divulgação através do ensino e aumentando o conhecimento em torno desta matéria através de novos estudos de investigação. Existem, contudo, novos desafios que se consideram ser necessários implementar no futuro, como: estudo de outras espécies a testar; dinâmica das raízes no espaço disponível; influência dos fatores ambientais na diferenciação dos sistemas radiculares; e modelo do solo reforçado pelas raízes.

Finalmente, deverá referir-se que o propósito deste trabalho foi atingido, contribuindo para que as obras de EN em taludes e encostas se possam afirmar com maior conhecimento e consequentemente com mais segurança, não só em Portugal continental, mas também numa vasta área da bacia do Mediterrâneo.

Palavras-chave: Engenharia natural (EN); flora de Portugal continental; espécies lenhosas; enraizamento adventício; eficácia ecológica da EN.

EXTENDED ABSTRACT

(RESEARCH ON SUITABLE TREES AND SHRUBS FOR SOIL BIOENGINEERING PROJECTS IN PORTUGAL)

Soil Bioengineering (SB) uses plant roots to strengthen and protect the soil, taking advantage of its endogenous resources, using a renewable source of energy and promoting the acceleration of ecological succession. This technique, generally unknown in Portugal, shows to be a strong alternative to the use of concrete on slopes and hillsides, areas characterized by the existence of limiting soils and moisture conditions.

This study is a contribution to the development of the SB, in Portugal, taking advantage of the professional experience and knowledge built up, based upon accomplish works during a period of seven years (1998-2005), supported by investments of the order of three million euro, as director of the Vesuvius national park – Italy.

Under the goal of this research, trees and shrubs of the Portuguese mainland flora were studied in order to obtain a set of species, not yet used in SB projects which are capable of vegetative propagation, hence likely suitable to be used in SB works on slopes and hillsides. From the set obtained candidate species were selected as those which by their wide geographical distribution, apparently demonstrate to have a greater utility in the Portuguese mainland.

Initially in this study the latest developments in SB in Portugal were analyzed and compared in a European context as well as the nature of applications in the country. Major constructive differences were described and related to different climatic characteristics of Central Europe region, where models and plans of SB were initially developed and where techniques have been more widespread and used. The mechanical and environmental efficiency of projects, carried out in the Vesuvius national park, in Central Mediterranean Europe, characterized by a climate similar to Portugal, were described.

The research work included experimental tests on adventitious rooting along the buried stem of four plants species, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L., installed in accordance to plans previously used in other Mediterranean countries.

In the experimental plots each plant was put in a cylindrical bag, in order to facilitate their extraction and to better represent the actual layout and the usual

density of plants in the construction of a "live crib wall". The roots pierced the bags making difficult their extraction, meshed and tied together. This occurrence suggests, as a spin-off, the definition of a new SB design, which could be named *green tube bag*.

This thesis presents results of adventitious rooting measurements and biotechnical characteristics of the root systems of the four tested plant species, *F. angustifolia*, *S. nigra*, *R. officinalis*, *V. tinus*. These outcomes confirm that all concerned species are adapted to SB projects and also that there is a positive relationship between the above ground development of plants and the below ground elements, namely the new roots. The tested species belong to the Portuguese mainland flora, but are spread over a wide area of the Mediterranean region. The results of this research allow claiming that the study of these species contributed to the development of SB and to the improvement of the effectiveness of the techniques used in this field not only in Portugal but also on a broader geographic context.

There are still many opportunities for new research on SB uses, which cannot be disregarded, promoting its dissemination and teaching, and improving knowledge by new experiments. New research challenges, such as the study of new species to be tested in the field, root dynamics in the available soil, influence of environmental factors on in the differentiation of root system, and models of soils reinforced by roots, should therefore be faced in the near future.

The contribution of the new knowledge achieved through this thesis, and the improved safety resulting from it, create an opportunity to spread SB as a main technique for projects on slopes and hillsides, not only in Portugal mainland, but also in a wider area of the Mediterranean basin. The purpose of this study can be considered then achieved.

Key-words: Soil Bioengineering (SB); mainland Portugal flora; woody species; adventitious rooting; SB ecological effectiveness.

SOMMARIO

(STUDIO DELLA VEGETAZIONE ARBOREA E ARBUSTIVA DEL PORTOGALLO APPROPRIATA AI PROGETTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA)

L'ingegneria Naturalistica (IN) usa le radici delle piante per rinforzare e proteggere i terreni sfruttando le sue risorse endogene, utilizzando sorgenti di energie rinnovabili e promuovendo l'accelerazione delle successioni ecologiche. Queste tecniche, anche se poco sviluppate in Portogallo, sono una forte alternativa all'uso del cemento su scarpate e versanti in cui i fattori edafici e la scarsa umidità permanente possono essere fattori limitanti.

Questo studio contribuisce alla diffusione e sviluppo delle tecniche di IN, sfruttando anche le conoscenze professionali accumulate come direttore del parco nazionale del Vesuvio, in Italia, e basate sulla realizzazione di progetti di IN, eseguiti durante un periodo di sette anni, dal 1998 al 2005, e supportati da un investimento per oltre tre milioni di euro.

Per raggiungere gli obiettivi di questa ricerca sono stati studiati gli alberi e gli arbusti del Portogallo continentale, arrivando a definire un insieme di specie, ancora non utilizzate in progetti di IN con supposta capacità di propagazione vegetativa, e quindi probabilmente utilizzabili in progetti di questo tipo. Sono state selezionate come candidate le specie che per la loro ampia distribuzione territoriale sono apparse come le più utili in caso di risultati positivi dei test.

Inizialmente si è delineato lo stato dell'arte dell'IN in Portogallo e lo si è comparato al contesto europeo così come le caratteristiche dei progetti sviluppati. Sono state descritte le differenze nei modelli e negli schemi costruttivi caratterizzati dalle condizioni climatiche della regione centro-europea, dove l'IN si è inizialmente sviluppata e maggiormente diffusa. È stata analizzata l'efficacia meccanica e ecologica dei progetti realizzati nel parco nazionale del Vesuvio, nell'Europa centro-mediterranea, caratterizzato da un clima più simile a quello portoghese.

La ricerca include test sperimentali sul radicamento avventizio sui fusti interrati di quattro specie di piante, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L., installate secondo gli schemi già in uso in altri paesi mediterranei.

Nelle parcelle sperimentali ogni pianta é stata collocata in un sacco cilindrico posto sub-orizzontalmente, al fine di facilitare la loro estrazione e di rappresentare la reale disposizione e la usuale densità delle piante usate nella costruzione di una palificata viva doppia. Le difficoltà comunque registrate al momento dell'estrazione dei sacchi, a causa delle radici che perforavano i sacchi e li collegavano saldamente, suggeriscono un risultato complementare e non atteso di questo lavoro, la definizione di una nuova tecnica di IN, che potrebbe essere chiamata *tubo verde*.

La tesi presenta i risultati quantitativi del radicamento avventizio e delle caratteristiche biotecniche dei sistemi radicali delle specie di piante testate, *F. angustifolia*, *S. nigra*, *R. officinalis*, *V. tinus*. I risultati ottenuti permettono di confermare l'idoneità di tutte le quattro specie al loro uso in progetti di IN e le correlazioni significative che legano lo sviluppo delle parti epigee delle piante a quelle ipogee, in particolare allo sviluppo delle nuove radici.

Le specie esaminate appartengono alla flora del Portogallo continentale, ma sono diffuse anche in una ben più vasta regione mediterranea. I risultati ottenuti in questa ricerca contribuiscono quindi allo sviluppo di progetti di IN non solo in Portogallo, ma in un contesto geografico molto più ampio.

Esistono ancora ampie opportunità di nuove ricerche sulle applicazioni dell'IN, che non possono essere tralasciate, promuovendo la sua divulgazione e il suo insegnamento e accrescendo le conoscenze attraverso nuove studi. Le sfide che le ricerche dovrebbero affrontare in un prossimo futuro sono su questioni quali: le ulteriori specie da sperimentare, la dinamica delle radici nello spazio disponibile del terreno, l'influenza dei diversi fattori nella differenziazione dei sistemi radicali, i modelli del terreno rinforzato dalle radici della vegetazione.

Con il contributo delle nuove conoscenze acquisite con questa tesi, e con la maggior sicurezza che ne deriva, l'IN ha la possibilità di affermarsi nel campo dei progetti su versanti e scarpate, non solo in Portogallo continentale, ma anche in una più vasta area del bacino del Mediterraneo. Il proposito di questo studio può considerarsi quindi raggiunto.

Parole-Chiave: Ingegneria Naturalistica (IN); flora del Portogallo continentale; specie legnose; radicamento avventizio; efficacia ecologica dell'IN.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
RESUMO ALARGADO	v
EXTENDED ABSTRACT	vii
SOMMARIO	ix
ÍNDICE	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xvi
1. PRÓLOGO	1
1.1. Da <i>ingenieurbiologie</i> à engenharia natural	2
1.2. A aplicação da engenharia natural em Portugal e na Europa	4
1.3. Projetos desenvolvidos ao longo do trabalho	8
1.4. Renovação e restauração: a eficácia ecológica da engenharia natural	10
1.5. Escolha de espécies para a EN em Portugal	12
1.6. Novas raízes para EN em Portugal e na bacia do Mediterrâneo	13
1.7. A proteção da erosão e a consolidação de taludes e encostas	14
1.8. Justificação, objetivos e estrutura da presente tese	16
Referências bibliográficas	18
2. ENGENHARIA NATURAL NA REABILITAÇÃO DE TALUDES E VERTENTES	22
2.1. Introdução	24
2.2. Engenharia natural: oportunidades e limitações	26
2.3. Engenharia natural: as suas técnicas	28
2.4. Engenharia natural: sua aplicação nas estradas da Europa mediterrânica	37
2.5. Conclusões	39
Referências bibliográficas	40

3. EVOLUTION OF SHRUB COMMUNITIES IN SOIL BIOENGINEERING PROJECTS ON VESUVIUS	41
3.1. Introduction	45
3.2. Monitoring Soil Bioengineering.....	46
3.3. SB projects' description.....	47
3.4. Methods	49
3.5. Results and conclusions.....	50
Acknowledgments.....	52
Bibliography	53
4. SELEÇÃO DE ESPÉCIES LENHOSAS ADEQUADAS ÀS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL.....	55
4.1. Introdução	57
4.2. Métodos	58
4.3. Resultados	74
4.4. Conclusão	79
Referências bibliográficas	81
5. SOIL BIOENGINEERING PROJECTS: ADEQUACY TESTS FOR PLANT SPECIES	83
5.1. Introduction	86
5.2. Materials and methods.....	88
5.3. Results	93
5.4. Discussion.....	101
5.5. Conclusions.....	104
Acknowledgments.....	105
Bibliography	105
6. CONCLUSÕES.....	108
Referências bibliográficas	109
ANEXO I – AÇÕES DE FORMAÇÃO E DIVULGAÇÃO SOBRE A ENGENHARIA NATURAL.....	110
ANEXO II – PROPOSTA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS APROVADA PELO MINISTERO ITALIANO DELL'ISTRUZIONE DELLA UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA (MIUR), RISERVADO A DOCENTES E INVESTIGADORES	

RESIDENTES FORA DE ITÁLIA. PROGRAMA “MESSAGGERI PER LA CONOSCENZA”	113
ANEXO III – EXCERTOS DO PROJETO DE ENGENHARIA NATURAL DO TALUDE DE ESCAVAÇÃO LOCALIZADO NO RAMO DE SAÍDA DO NÓ DA MALVEIRA DA A21	117
ANEXO IV – POSTER SOBRE O ENRAIZAMENTO DA RUTA CHALEPENSIS APRESENTADO NO CONGRESSO AEIP-APENA-EFIB DE 2014 EM ESPANHA.....	139

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2-1	Sementeira com cobertura de proteção de palha, Tapada da Ajuda, Lisboa (07/2012).....	31
Fig. 2-2	O mesmo local 3 meses após sementeira (10/2012).	31
Fig. 2-3	Obra combinada realizada no parque nacional do Vesúvio (Itália). 1ª Fase: Construção do muro vivo, maio 2004	35
Fig. 2-4	2ª Fase: Construção de grade viva, maio 2004.....	35
Fig. 2-5	Vista geral da estrutura de postes de madeira, junho 2004	36
Fig. 2-6	A obra em novembro 2004	36
Fig. 2-7	A obra em março 2005	36
Fig. 2-8	A obra em maio 2005	36
Fig. 2-9	Talude, A21, nó da Malveira (07/2012)	37
Fig. 2-10	Talude, detalhe, A21, nó da Malveira (07/2012)	37
Fig. 2-11	Muro vivo de suporte, Tapada da Ajuda (10/2012)	39
Fig. 4-1	Estacas de <i>Atriplex halimus</i> , <i>Vitex agnus-castus</i> , <i>Nerium oleander</i> e <i>Tamarix gallica</i> (Cornelini)	60
Fig. 4-2	Estacas de <i>Salix myrsinifolia</i> dois anos após implante (adaptado de Schiechtl, 1973).....	61
Fig. 4-3	Estaca de <i>Salix caprea</i> três meses após implante (parque nacional do Vesúvio).....	61
Fig. 4-4	Raízes adventícias ao longo do caule duma planta enterrada (adaptado de Florineth, 2004)	62
Fig. 4-5	Raízes adventícias ao longo do caule <i>Colutea arborescens</i> 15 meses após enterramento	62
Fig. 4-6	Diagrama de Veitch	73
Fig. 4-7	Árvore de decisões.....	74
Fig. 5-1	Distribution in mainland Portugal of the studied four species	87
Fig. 5-2	Plants used in the tests.	90
Fig. 5-3	Final stages of the five plots installation	90
Fig. 5-4	Plant breakdown structure for its quantitative analysis	93
Fig. 5-5	Evolution of the Standard Precipitation Index accumulated for 3 months (SPI3) in the Ave river Basin and in Lisbon area from 2012 January to 2014 April (IPMA, 2015).....	94

Fig. 5-6 General view of the plots ST2, ST1 and TA3 in April 2014 before plant extraction	94
Fig. 5-7 Live plants by species and plot.....	95
Fig. 5-8 Average values of main variables of live plants, by plot	95
Fig. 5-9 Number of buried stems frequency (plant numbers – PN), by species	96
Fig. 5-10 Frequency of the distribution pattern of adventitious roots on the buried stems	98
Fig. 5-11 Correlation matrix among variables showing significant correlation coefficients (R). The asterisk * indicates significant correlations at the 0.05 level; double asterisk ** indicates significant correlations at the 0.01 level. Legend of variables is the same of table 5-3.....	98
Fig. 5-12 PCA diagram for the first two axes showing the components loading for each factor (plot and species)	99
Fig. 5-13 PCA diagram showing the component scores in two first axes for all variables.	100

LISTA DE TABELAS

Tab. 3-1 Plants and cutting used in the live crib walls	49
Tab. 3-2 Abundances indices for cover percentage ranges	50
Tab. 3-3 Vegetal covers for the three projects.....	50
Tab. 3-4 Species inventories for the three projects	51
 Tab. 4-1 Resultados da fase divergente.....	75
Tab. 4-2 Resultados da fase convergente.....	76
Tab. 4-3 Espécies a submeter á ensaios	79
 Tab. 5-1 Location and soil characteristics of the plots.....	89
Tab. 5-2 Characteristics of the plants used in the tests.....	90
Tab. 5-3 Descriptive parameters (mean \pm SE) of the 37 living plants distributed by species.....	97
Tab. 5-4 Values of p for the significant effects of the factors plot and species (ANOVA).....	100

1. PRÓLOGO

A engenharia natural tem a sua origem em territórios distantes de Portugal, mais concretamente na Europa central. Foi no Parque Nacional do Vesúvio, também longe de Portugal, mas em ambiente mediterrânico, climaticamente mais próximo do português, que tive a oportunidade de aplicar as suas técnicas.

Para enquadrar devidamente o desenvolvimento desta tese considero ser necessário uma abordagem inicial que sirva de fio condutor, atravessando e dando coerência aos diferentes artigos publicados, bem como uma referência abreviada de questões que se evidenciaram nos trabalhos realizados paralelamente a este estudo e que contribuíram para a sua consolidação. A intenção é clarificar todas as questões que possam ainda residir pelo facto da tese se ter desenvolvido em artigos independentes, confirmar a sua interligação e identificar bem como definir os elementos que contribuem para solucionar as questões mais relevantes que se levantam ao longo deste trabalho.

A apresentação dos artigos permitiu que os resultados desta tese fossem progressivamente libertados aos agentes interessados, promovendo-se a sua divulgação. No entanto, o longo e profundo estudo realizado melhorou o meu conhecimento e determinou um olhar sobre as matérias e uma abordagem dos assuntos mais madura e enriquecida. Mas este “saber” não estava refletido nos artigos já escritos. Para além disso, durante o período de estudo, houve atualizações de conhecimento que não poderiam ser tidas em conta nos artigos anteriormente escritos.

Nesta abordagem inicial exponho o motivo deste estudo, os processos nele seguidos, as matérias tratadas, os assuntos que, apesar de omissos no corpo central da tese, considere, posteriormente, essenciais para reforçar a sua coerência e melhorar a sua compreensão.

Pretendo também, através de elementos distintivos, contribuir para a clarificação do que se entende por engenharia natural, estabelecendo as diferenças entre esta e as disciplinas que lhe estão mais próximas, como a Engenharia Florestal e a Arquitetura Paisagista.

Assim, o título que melhor se adapta a este primeiro capítulo é *Prólogo*, mais que *Introdução*.

1.1. Da *ingenieurbiologie* à engenharia natural

A história e os conceitos essenciais da Engenharia Natural (EN), que hoje se encontram difundidos em todo o mundo, foram descritos por Bischetti *et al.* (2014). Estes autores evitam a tentação de muitos outros que, pretendendo qualificar a EN como uma disciplina antiga, o fizeram sem referir fontes, ou mencionando apenas citações anteriores.

Embora, historicamente, o primeiro nome usado para a identificação da EN tenha sido *ingenieurbiologie* (em alemão), a sua utilização só está em uso há algumas décadas.

Bischetti *et al.* (2014) questionam-se sobre a possibilidade de associar a EN aos sistemas de construção da engenharia hidráulica como os ocorridos na China, em épocas anteriores ao nascimento de Cristo; na Alemanha dos celtas; no império romano e na Itália renascentista. Estes utilizavam os materiais naturais, únicos disponíveis, não sendo possível, na época, fazer escolhas entre diferentes técnicas e materiais de construção, como acontece atualmente. Segundo os autores, o momento em que se torna possível escolher técnicas que usam as plantas como material de construção representa o momento que se pode começar a falar de EN. Ou seja, quando a escolha das plantas, por vezes combinada com outros materiais não vivos, surge como alternativa às técnicas de engenharia civil contemporânea que usam apenas materiais inertes. De acordo com os autores, o referido momento dá-se com a criação, em 1936, da *Forschungsstelle für Ingenieurbiologie* (Centro de Investigação para a Engenharia Natural) na Alemanha. Esta é também a primeira vez que se usa a palavra *Ingenieurbiologie*.

O Centro de Investigação para a Engenharia Natural, instituição privada que se manteve ativa em Munique até 1945, sob a chefia do florestal Arthur von Kruedener, tinha como função prestar apoio aos engenheiros civis do Instituto de Estradas alemão, promovendo a construção de estradas que sugerissem um tipo de viagem através da paisagem, como se fosse também uma experiência de vida - de acordo com o estilo “moderno” - muito em voga naquela época. A fusão das técnicas florestais de montanha com os problemas práticos da construção de rodovias deu origem à *Ingenieurbiologie*, título de um livro de von Kruedener (1951, citado por Bischetti *et al.*, 2014) que pretendia resolver problemas reais da construção de estradas. O conhecimento adquirido

até então, interrompido devido à segunda guerra mundial e às suas imediatas consequências, foi novamente aplicado, desenvolvido e inovado nos anos 50 do século passado, sempre na região de língua alemã, nomeadamente na Áustria (Bischetti *et al.*, 2014), por Schiechtl, talvez o mais reconhecido “mestre” nesta matéria, que divulgou a *Ingenieurbiologie* em todo o mundo.

As diferentes línguas europeias têm encontrado diversas traduções para o termo *Ingenieurbiologie*. Em português esta palavra poder-se-á traduzir literalmente por *bioengenharia*, termo que nos países de língua alemã se mantem em uso, enquanto em outros países tem sido traduzido de outras formas, tentando evitar a confusão entre *bioengenharia* e as aplicações mais recentes de engenharia biomédica. Em Itália usa-se a expressão *ingegneria naturalistica* (AIPIN, 2015). Em Espanha usa-se *ingeniería del paisaje* (AEIP, 2015). Em Portugal o estudo dos modelos definidos por Schiechtl era incluído, até 2005, na licenciatura de engenharia biofísica, passando posteriormente a usar-se o termo de engenharia natural (APENA, 2015).

A tradução livre de EN segundo Schiechtl e Stern (1992) é:

“Uma técnica de engenharia civil, mas baseada na biologia, que usa conhecimentos biológicos e ecológicos para estabilizar e proteger encostas, taludes, margens de rios, planícies aluviais, aterros rodoviários e sanitários, utilizando, em regra, material vivo, como plantas ou partes de plantas que, no decurso do seu desenvolvimento, fornecem uma contribuição fundamental na estabilização de longo prazo, podendo, na fase inicial, combinar-se plantas com materiais inertes.”

Schiechtl, (1973), aceite por quase todos como o “pai” da EN, reintroduziu-a, sistematizou o conhecimento prévio sobre a matéria, inovou esquemas e modelos de construção e, através de verificação continua dos seus projetos, foi atualizando a informação que resultava das suas obras. Este autor, usando um esquema inovador que consistia na plantação de estacas numa posição quase horizontal, descobriu que estas emitiam raízes ao longo de todos os “nós” e não apenas junto ao seu corte basal, como acontece quando instaladas na vertical, tendo redefinido as técnicas e a prática da EN.

As principais técnicas de EN, algumas aplicadas em casos de estudo que decorreram em paralelo ao desenvolvimento desta tese, como à frente se verá

(Malveira e Costa da Caparica), estão descritas e classificadas no segundo capítulo deste trabalho, onde são abordados, de igual modo, os limites da aplicabilidade da EN. Esse capítulo apresenta uma panorâmica das técnicas utilizadas em EN, da evolução que sofreram e dos objetivos em que se enquadram. Mais pormenores construtivos podem ser encontrados em Schiechtl (1973) e Florineth (2004) e na copiosa bibliografia disponível na Internet, sobretudo a da “escola Norte Americana” (USDA-NRSC 1992a, 1992b; BCMF, 2001), e a da “escola Italiana” (Bifulco 2001; Sauli *et al.*, 2002, 2006).

Embora nos últimos anos e em alguns países se tenha alargado o campo da EN a outras disciplinas que lhe estão próximas, tais como a Arquitetura Paisagista e o “verde técnico” (como atualmente alguns definem o verde urbano), para a maioria dos autores e investigadores mantém-se a definição de Schiechtl e Stern (Bischetti *et al.*, 2014).

As plantas utilizadas na EN têm um papel estrutural, nomeadamente no reforço e proteção do solo nas encostas, nos taludes, ou ainda, ao longo das margens do rio, tendo, como outros efeitos, a possibilidade de promover alterações positivas no ecossistema e na paisagem.

De facto, as técnicas definidas pela EN alcançam resultados uteis no curto prazo, proporcionam um produto equivalente ao fornecido pela engenharia civil tradicional, no que se refere ao seu objetivo principal, com custos muito inferiores (Schiechtl, 1973), utilizam técnicas amigáveis e proporcionam resultados incomparavelmente superiores em termos do impacto ecológico no ecossistema, podendo ainda ser usadas com fins estéticos.

1.2. A aplicação da engenharia natural em Portugal e na Europa

Em Portugal a EN está menos desenvolvida, quando comparada com o resto da Europa e do mundo. Esta opinião tem por base a leitura, realizada no decurso desta tese, de artigos e publicações da temática em língua portuguesa, excluindo os do Brasil, ou de autores portugueses, quer técnicos quer de divulgação, que quando comparados com outros países são em número muito menor.

No entanto não se pode deixar de mencionar o fundador da escola de Arquitetura Paisagista em Portugal, Francisco Caldeira Cabral (1993), que tem

como pontos focais do seu legado assuntos ligados à erosão do solo e à paisagem e ao uso de espécies autóctones (tratada em 1943) também eles muito caros à EN e que a preocupam. Estas matérias sofrem um grande destaque na proposta de arborização de terrenos declivosos e erosionados do Norte do país, que sofriam uma acentuada perda de fertilidade. Nos seus estudos há também referências ao impacto que as estradas podem ter na paisagem. Este assunto, estudado em 1940, é um dos pontos de encontro entre a EN e arquitetura paisagista de Francisco Caldeira Cabral, cuja formação na escola de Berlim, durante o período em que foi instituído o já referido *Forschungsstelle für Ingenieurbiologie*, poderá ter tido a sua importância na elaboração de um pensamento sobre estes assuntos.

É referido, de entre os textos elaborados por Francisco Caldeira Cabral, um projeto sobre a consolidação e revestimento de taludes na refinaria da SACOR em Cabo Ruivo (sem data, citado por Pinto, 2014). Depois de ter tratado de estudos pedológicos, drenagem interior, drenagem superficial, o projeto apresenta soluções com diversos revestimentos: alvenaria de pedra, de tijolo, de betão armado e revestimento vegetal com chorão, com relva e com pasta de relva. Contudo, o uso das estacas vivas, material mais em uso e que caracteriza as técnicas de EN, bem como o objetivo de utilizar as raízes para reforçar estruturalmente o terreno e os esquemas construtivos da EN, não pertencem às práticas comuns da Arquitetura Paisagista em Portugal.

Mais recentemente o objetivo principal dos projetos de EN, em Portugal, tem sido a sustentação de margens de rios e ribeiras e de taludes junto ao meio aquático, com a implementação de técnicas ligadas à construção, reconstrução e proteção de margens de lagoas e linha de águas.

Previamente a 2004, os projetos de EN executados em Portugal localizavam-se apenas em Lisboa, no parque florestal de Monsanto, nomeadamente na lagoa e canais de adução (Souto Cruz, comunicação pessoal, 2004). Posteriormente, várias entidades de gestão e investigação portuguesas participaram em projetos de cooperação europeus: PROGECO, programa INTERREG III MedOcc, anos 2004-2007 (Silva, 2008); RIPIDURABLE, programa INTERREG IIIC, anos 2005-2008, e RICOVER, programa INTERREG SOE IVb, anos 2009-2010 (Mendes, 2012); no âmbito destes projetos foram realizadas atividades demonstrativas, cursos breves, publicação de artigos e livros (Aranzazu Prada

e Aripze, 2009; Aripze *et al.*, 2009). No âmbito do projeto “Nascentes para a vida”, financiado pela EPAL foi publicado um manual de divulgação sobre as técnicas de EN (Fernandes e Freitas, 2011).

As espécies vegetais referidas nos projetos e estudos citados são tipicamente ribeirinhas, tendo sido inclusive efetuados testes sobre a capacidade de enraizamento de estacas de muitas espécies que podem formar a galeria ripícola (Faria *et al.*, 2008). Este assunto foi abordado novamente numa recente publicação do projeto RIPLANTE, sobre as boas práticas de reprodução de espécies lenhosas ribeirinhas (Faria e Almeida, 2013) que especifica as diferentes formas de uso e dimensões para a propagação de estacas em técnicas de EN, dando novo fôlego às experiências e às indicações de Schiechl (1973) sobre este assunto específico. Esta concentração de projetos em ambiente aquático pode ser explicada pelo desenvolvimento das políticas europeias e nacionais que derivam da Diretiva Quadro da Água, assim como pela presença de estruturas governamentais na gestão das bacias hidrográficas e pelo relevante montante de investimento público neste setor.

Para além das implicações políticas e económicas, a implementação da EN nas margens dos cursos de água é favorecida pelo êxito no enraizamento apresentado por algumas espécies de estacas, nomeadamente de *Salix* spp., muito influenciadas pela humidade permanente nos solos onde são instaladas.

Os projetos de EN realizados em meio naturalmente húmido e outros casos de estudo deste tipo foram objeto de inúmeras publicações, quer em Portugal quer noutros países da UE e EUA. Na sequência do referido e apenas como exemplos recentes menciona-se que: (i) em França, o *Ministère de l'Écologie de l'Énergie du Développement durable et de l'Aménagement du territoire* (2008) publicou um livro, revisão de um outro de 1994, que, para além das obras nas margens dos rios, apresenta casos de estudo e soluções para projetos executados no leito dos rios; (ii) na Suíça já tinha sido publicado um primeiro documento (Zeh, 1988) que durante muitos anos foi referência neste setor técnico, traduzido também em italiano e publicado em 1993 pelo Ministério do Ambiente Italiano, que resumia os modelos construtivos aplicados na renaturalização dos rios do Cantão de Berne.

Contudo, a EN não se aplica apenas ao meio aquático. Os modelos construtivos principais da EN não se diferenciam entre os das linhas de água e

rios e os dos taludes e vertentes não húmidas. Apesar desta semelhança, continua a repetir-se a primeira classificação e repartição feita pelo Schiechtl (1973) entre obras em meio aquático e obras em meio terrestre. No trabalho de divulgação feito pela Região Lazio, em Itália, encontra-se a mesma distinção (Sauli *et al.*, 2002, 2006), com mais uma particularidade referente às técnicas aplicadas em pedreiras e aterros.

Uma outra função biotécnica das plantas, já descrita por Schiechtl (1973), é a redução de colibactérias, enterococos e salmonelas nos fluxos de água e absorção de fenol, indol, e metais pesados. Estas questões hoje encontram-se enquadradas na fito-remediação (Missouri Botanical Garden, 2003), não sendo estas as capacidades normalmente usadas nos projetos de engenharia natural.

Atualmente em Portugal, quando se fala de EN em encostas e taludes, fala-se sobretudo de hidrossementeira. Esta é de facto uma das muitas técnicas que podem ser utilizadas nos projetos de EN e, dentro destas, uma das mais económicas. No entanto, o seu objetivo limita-se à proteção da erosão superficial das encostas e taludes, não tendo funções de estabilização superficial nem de consolidação.

No tratamento das pedreiras de Outão da SECIL, onde há uma longa história de gestão das zonas em fim de atividade extrativa e onde, mais que resolver os problemas de estabilização das encostas se quer diminuir o impacto visual na paisagem, foram inicialmente plantadas árvores nos patamares da pedra, posteriormente árvores e também arbustos, mais recentemente, estas práticas foram substituídas pela hidrossementeira em superfícies inclinadas reconstruídas em cima dos patamares (Correia, 2014; Oliveira, 2014; Silva, 2014).

Em outros casos de estudo sobre a reutilização dos espaços das pedreiras portuguesas, resultantes do fim da sua atividade extrativa, é dada preponderância ao projeto arquitetónico de remodelação da morfologia da área em detrimento de qualquer outro aspeto e o uso do “verde” subsiste apenas como elemento de decoração (Duarte, 2014; Pliz, 2014). Outro exemplo da utilização da hidrossementeira ocorre nos taludes das autoestradas da concessão BRISA (Robalo e Clemente, 2010), troço Lisboa-Setúbal, A6 (Évora), A1 (Coimbra) e A3 (Valença).

O distanciamento de Portugal em relação a outros países da Europa, nesta matéria da EN, resulta também da análise e da comparação das comunicações apresentadas nos congressos internacionais organizados com a contribuição da Associação Portuguesa de Engenharia Natural (APENA) entre 2011 e 2014 (Câmara de Cascais, 2011; Câmara de Cascais, 2012; AEIP 2014) e pelo *Institut für Ingenieurbilogie und Landschaftsbau* (2015), Instituto de Engenharia Natural e da Paisagem da *Universität für Bodenkultur*, Universidade das Ciências Agronómicas, Viena.

Desde 2009, anteriormente a este trabalho de doutoramento, participei em muitas ações de formação/divulgação organizadas por entidades científicas, públicas e associações profissionais nas quais se divulgaram as técnicas e os projetos da EN: um sumário destas ações encontra-se no anexo I. A ideia de preparar um doutoramento surge da necessidade, reforçada por esta atividade de divulgação, de colmatar a falta de conhecimento sobre as espécies a utilizar nos projetos de EN em encostas e taludes.

De facto, o presente trabalho pretende contribuir para aproximar Portugal da EN, divulgando os resultados da investigação realizada com espécies autóctones e as metodologias de instalação de plantas nos modelos construtivos, por forma a promover obras de consolidação e estabilização em encostas e taludes de zonas sem humidade natural permanente.

1.3. Projetos desenvolvidos ao longo do trabalho

Este trabalho de investigação realizou-se a par com a concretização de outros projetos de EN, conseguindo desta forma uma atividade científica aplicada - que produz resultados imediatamente utilizáveis.

Para além das atividades de divulgação de curta duração mencionadas, foi apresentada uma proposta de atividades didáticas sobre o uso da EN em áreas urbanas e periurbanas no âmbito do programa “*Messaggeri per la Conoscenza*” do *Ministero Italiano dell’Istruzione della Università e della Ricerca* (MIUR, 2012), reservado a docentes e investigadores residentes fora de Itália. O programa tinha como objetivo a divulgação de investigação científica de vanguarda, desenvolvida em centros de excelência internacional, junto de estudantes de mestrado das Universidades das regiões Campania, Calabria, Sicilia e Puglia. O projeto de formação (anexo II) apresentado em concurso

internacional foi aprovado pelo MIUR (MIUR, 2013a; 2013b) e pelo Departamento de Arquitetura da Universidade de Palermo, tendo sido realizado naquela cidade e em Lisboa, no Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves do Instituto Superior de Agronomia (CEABN, ISA). O curso, desenvolvido em duas fases, contemplou um estágio que abarcou áreas de estudo e investigação, de projeto e de assistência à direção da obra (Guerrera *et al.*, 2014).

No mesmo período encontrava-se em execução o projeto elaborado em parceria com o CEABN, ISA e as Estradas de Portugal SA (EP), hoje denominada Infraestruturas de Portugal SA (IP). Uma equipa conjunta da EP e do CEABN, ISA, elaborou um projeto de EN, cujo objetivo era a estabilização do talude de escavação localizado no ramo de saída do Nó da Malveira da A21, e no qual se incluía a remodelação dos taludes e das drenagens superficiais. Futuramente será referido como o projeto da *Malveira* e do qual se encontram mais elementos no anexo III.

A execução deste projeto transformou-se numa oportunidade única que permitiu implementar em Portugal os modelos de EN de estabilização e consolidação de taludes e de verificar, no terreno, as espécies objeto de investigação desta tese de doutoramento. A elaboração do projeto ocorreu em 2013 e a sua execução em 2014. Atualmente decorre a sua monitorização, desenvolvida pelo CEABN, ISA, que incluirá a programação das ações de manutenção.

Realizou-se assim, com esta sucessão de acontecimentos, um típico ciclo *Plan-Do-Check-Act*, método de controlo e melhoria de processos e produtos.

O projeto de *Malveira* e respetiva monitorização, bem como um outro executado no corrente ano, motivado por um deslizamento de terras ocorrido na Arriba Fóssil da Costa da Caparica em 2014, foram os dois casos de estudo desenvolvidos em Portugal e expostos nas atividades de divulgação desenvolvidas a partir de 2015, que ilustram como a EN é exequível fora do âmbito dos cursos de água e recorre a outras técnicas que não apenas a de hidrossementeira.

A aprovação, num contexto de cooperação internacional, de um projeto de formação, o interesse de uma entidade de gestão do património público de

nível nacional em testar e verificar as possibilidades da EN, e o interesse demonstrado pela afluência às diferentes ações de divulgação, são indicativos da atenção que merece, no presente e provavelmente para o futuro, o estudo, a investigação e a aplicação da EN em Portugal.

1.4. Renovação e restauração: a eficácia ecológica da engenharia natural

A EN é utilizada principalmente em obras de engenharia civil e hidráulica. Nestas situações o resultado deve ser o da eficácia técnica, demonstrada com o decorrer do tempo, sendo a eficácia ecológica, frequentemente, relegada para segundo plano.

Nem sempre houve cuidado na escolha das espécies utilizadas, sendo comum a utilização de espécies que não pertenciam à flora local, ou o uso de materiais pouco ecológicos. De facto era preciso resolver questões mais importantes como as geotécnicas ou as hidráulicas, tendo sempre presente as disponibilidades e os custos.

A utilização de espécies da flora local e a preocupação com a sua proveniência só se tornou importante na medida em que a disponibilidade de plantas se tornou efetiva num prazo útil para a implementação da obra.

Existem recomendações recentes da AIPIN para o uso preferencial de espécies autóctones e de materiais inertes naturais, (Cornellini e Sauli, 2012), mas considera-se admissível, em determinadas situações, o uso de plantas exóticas naturalizadas e mesmo de todas as plantas exóticas, incluindo as de recente introdução.

Embora a EN seja reconhecida como uma técnica de diminuto impacto ambiental, a introdução de espécies exóticas invalida esta sua característica. Não é uma prática correta a compensação de desequilíbrios induzidos ao ecossistema pela introdução de outro tipo de desequilíbrios.

Hoje o conhecimento científico disponibiliza, em todos os países, espécies autóctones de grande plasticidade e de grande amplitude ecológica que implicam reduzidas exigências do balanço trófico, humidade do solo e temperatura, o que as torna espécies difundidas em vastas áreas e com amplas diferenças altitudinais.

As dificuldades na escolha das espécies prendem-se com o facto da EN se apresentar como solução para solos novos, com um teor de húmus nulo ou muito baixo, frequentemente com uma forte componente rochosa e, em regra, com um declive considerável. Nestas situações devem ser usadas espécies pioneiras, sendo muito difícil garantir o sucesso da obra utilizando as espécies da sucessão vegetal clímax local.

Relativamente às sementes, há grandes quantidades de espécies herbáceas disponíveis, no entanto, muitas vezes, as sementes à venda são cultivares, específicas para condições particulares, ou pertencem a espécies exóticas.

Na maioria dos casos a EN intervém em lugares onde o ecossistema original já não existe. Compensar a degradação existente é o seu objetivo principal, através da construção de um novo ecossistema, a partir do qual se pode planejar a sua evolução. Como definir este processo? Como uma restauração, recuperação, reabilitação, ou uma renovação?

A palavra degradação implica uma perda de valor e de qualidade. A tentativa de reposição do estado inicial traduz-se numa restauração, que é uma reintegração ou recuperação do estado primitivo, ou seja, uma reaquisição do que foi perdido. A palavra reabilitação é também um sinónimo das duas anteriores, embora usada principalmente para qualidades morais humanas.

Sabe-se que voltar às condições iniciais é muito difícil ou mesmo impossível, assim, a palavra renovação, à qual subjaz que nem tudo o que foi perdido é repostado, indica uma reparação e associa o significado de palavras como melhorar, consertar, recomeçar, dar novo aspeto, que são termos que se diferenciam da reposição do estado passado que se perdeu.

Em nosso entender “renovar” é a palavra que melhor interpreta os objetivos da EN, aquela que permite delinear para um local a instalação de um novo ecossistema, com uma nova morfologia, novo substrato e novas plantas. Representa, portanto, um projeto que tem muitos mais graus de liberdade do que uma restauração, que implica repor o que se perdeu.

Segundo o nosso ponto de vista o projeto de EN funciona como um “motor de arranque” que permite pôr o “carro” em marcha, o “carro” das sucessões naturais.

O caso do talude da *Malveira* é paradigmático desta situação, sendo bem visível o confronto entre as áreas tratadas e as não tratadas, que continuam a sofrer processos de degradação devido à erosão e às instabilidades a que o solo está sujeito.

Mas de facto estudos sobre a monitorização das sucessões vegetacionais nos projetos de EN são diminutos. Mais uma vez é Schiechtl a referência, acompanhado de poucos outros (Schutz, 1995, Florineth, 2004).

Sendo o conhecimento da evolução da vegetação uma lacuna que se verifica existir e que permite chegar a interessantes resultados, tendo sido responsável um número significativo de obras de EN no parque nacional do Vesúvio, considere-se importante debruçar-me sobre a atualização de algumas das monitorizações levados a cabo no referido parque nacional, sendo esse o assunto sobre o qual versa o terceiro capítulo desta tese.

Para isso, foram escolhidos dois projetos de EN, nas mais extremas condições climatológicas e edáficas e feita, pela primeira vez, a comparação com uma zona em que apenas se realizou a estabilização mecânica do terreno. Isto permitiu concluir que não basta este tipo de fixação do terreno, como se de uma obra de carpintaria se tratasse, pois neste caso a percentagem de solo nu continua a ser muito superior ao desejável.

1.5. Escolha de espécies para a EN em Portugal

Uma vez que os projetos de EN já tinham provado a sua validade funcional e ecológica, a questão que se coloca é a determinação de quais as espécies da flora portuguesa adequadas a obras de EN.

Tendo em conta o clima português, com uma forte secura estival, e o facto de se pretender utilizar a EN em áreas não húmidas, o uso de estacas poderá ser problemático. Neste sentido será necessário encontrar espécies capazes de emitir raízes adventícias ao longo do caule enterrado, sendo a sua sobrevivência à instalação garantida pelo torrão radicular, isto até que se verifique crescimento das raízes adventícias, como o já experimentado no Vesúvio (Bifulco, 2011). O número reduzido de estudos prévios sobre o referido fenómeno e o facto de incidirem sobre espécies que não pertencem à flora portuguesa, revelou-se uma fortíssima limitação à utilização da EN em terrenos com humidade irregular.

Este constrangimento evidenciou a necessidade prioritária de encontrar um leque de espécies portuguesas que servissem este propósito. Assim, considerou-se ser imprescindível estudar aprofundadamente as espécies da flora continental de Portugal, investigar e definir uma metodologia que permitisse conhecer as plantas mais adequadas, aquelas que seriam as melhores espécies candidatas a serem posteriormente testadas. Este é o tema do quarto capítulo deste trabalho.

Para atingir o resultado pretendido realizou-se uma pesquisa bibliográfica exaustiva, recolhendo a informação disponível na Europa e mais concretamente em Portugal. O ponto de partida foi a capacidade das estacas emitirem raízes adventícias, no entanto, a heterogeneidade das fontes encontradas originou referências com características muito distintas.

Examinando a distribuição geográfica, que se pretendia o mais alargada possível para Portugal continental, e as referências bibliográficas, que sugerissem uma boa capacidade de emissão de raízes adventícias, as espécies foram classificadas e selecionadas as que se revelaram mais interessantes a submeterem a testes de enraizamento, que permitesse conhecer a sua capacidade de desenvolver raízes adventícias ao longo do seu caule enterrado.

1.6. Novas raízes para EN em Portugal e na bacia do Mediterrâneo

Nas obras de EN utilizam-se arbustos e árvores de pequeno porte em detrimento de árvores de grande porte. A profundidade atingida pelas raízes das plantas é um parâmetro crucial nos projetos de estabilização e de consolidação, assim como a relação entre a parte subterrânea, que caracteriza a ancoragem da planta ao solo, e a parte aérea, onde o vento e o peso da planta formam solicitações mecânicas que se transmitem ao solo. Por esta razão, na EN, não são bem-vindas as árvores de grande porte. (Schiechtl, 1973)

A estabilização e consolidação do solo exigem plantas lenhosas. Não sendo possível confiar no uso de estacas que garantam a sua permanência viva em terrenos sem humidade permanente, é necessário recorrer à instalação de plantas sub-horizontalmente, com torrão e caule enterrados, de modo a

estimular a proliferação radicular que favoreça a sobrevivência da planta e o reforço do terreno.

O fornecimento de dados quantitativos sobre os sistemas radiculares de imediata utilidade e de dados estatísticos que permitem a interpretação dos modelos de desenvolvimento destas plantas, é o tema do quinto capítulo desta tese.

A metodologia utilizada nas parcelas de ensaio possibilita a obtenção de dados referentes à real configuração espacial e densidade das raízes das plantas, aquela que se encontra nos projetos de EN. Outros estudos interessantes sobre o desenvolvimento radicular das plantas são feitos por escavação de terrenos, não sendo a densidade das plantas sobredimensionada, contrariamente ao que acontece em obras de EN (Silva e Rego, 2003; Cornellini *et al.*, 2008; Kutschera *et al.*, 1997; Kutschera e Lichtenegger, 2002).

Os dados obtidos no quinto capítulo desta tese provêm de ensaios desenvolvidos em Portugal, relativos a espécies típicas da região mediterrânica embora no caso específico de *S. nigra*, digam respeito a uma espécie com uma distribuição muito mais ampla em termos do contexto europeu. Assim, a validade do uso destas quatro espécies em obras de EN pode-se estender muito além das fronteiras de Portugal, dando, um estudo português, uma contribuição para o aumento do conhecimento sobre EN em outros países da Europa e da África mediterrânica, reforçando o papel de Portugal neste setor técnico e científico.

1.7. A proteção da erosão e a consolidação de taludes e encostas

As pequenas plantas, com a parte aérea mais perto do solo e por isso capazes de melhor absorver a energia cinética da água que cai ou escorre, são muito importantes nos projetos de proteção da erosão, provocada pelas escorrências superficiais e pelo impacto das gotas de chuva. Tendo em consideração estes objetivos, preferem-se as plantas herbáceas em detrimento às espécies arbustivas e/ou arbóreas. Em condições de secura e em lugares não regados, procura-se realizar uma cobertura que siga os ritmos das plantas anuais, terófitas, planeando a intervenção no sentido da obtenção de relvados polífitos que se possam reproduzir ano após ano. A efetiva disponibilidade de sementes

de herbáceas autóctones, mais adequadas ao local, verifica-se ser a limitação mais relevante na definição do projeto.

Não sendo as herbáceas consideradas eficazes para a estabilização e consolidação do terreno, no caso de se pretender alcançar também estes objetivos, será necessário complementar o seu uso com espécies perenes e ainda com outras técnicas.

Mesmo não sendo do âmbito do presente estudo, o trabalho desenvolvido para o projeto da *Malveira* permitiu definir um conjunto de gramíneas e leguminosas autóctones, passíveis de serem utilizadas para a proteção da erosão superficial. Utilizaram-se as mesmas sementes aplicando-as com duas técnicas diferentes: sementeira com cobertura de proteção de palha e hidrossementeira, permitindo que o confronto entre estas duas opções, forneça, futuramente, indicações sobre a viabilidade de cada uma das técnicas.

Está também a ser testado num projeto didático (um talude rochoso de calcário da Tapada da Ajuda - obtido por escavação), a capacidade de um determinado conjunto de sementes se afirmar anualmente, constituindo uma associação de herbáceas capazes de se reproduzir sem acrescentar terra no local.

Também fora do âmbito desta tese, mas ainda como consequência dela, desenvolveu-se um trabalho de mestrado em Arquitetura Paisagista do ISA, onde foram efetuados ensaios de enraizamento de estacas, de algumas espécies arbustivas, tendo estes decorrido durante a primavera do 2012 (Correia, 2013).

Dos resultados obtidos é de mencionar a *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter, pela alta percentagem de enraizamento das suas estacas - 85% e pela sua ampla disponibilidade, encontrando-se como pioneira dos terrenos abandonados, com ampla distribuição geográfica. Estas condições levaram a que a *D. viscosa* fosse posteriormente utilizadas no projeto da *Malveira*. Outra espécie testada nesta ocasião foi a *Daphne gnidium* L.. Esta espécie foi encontrada na Tapada de Mafra, com raízes que atingiam uma profundidade média de 120 cm (Silva e Rego 2003), encontra-se presente em todo o Portugal continental, e a propagação das plantas deste género por estaca é referida por Piotto e Di Noi (2001). Infelizmente nenhuma estaca de *D. gnidium* emitiu raízes, pese embora a repetição dos testes em outros períodos do ano e em diferentes substratos.

As informações que referenciavam o género *Daphne* como capaz de propagação vegetativa tiveram origem num conhecido *website* alemão (Seidelbast, s.d.) sobre as espécies deste género. Este facto abriu um cenário com interesse face à escassez de informações sobre o enraizamento adventício das plantas. Existe muita informação não científica que se pode revelar interessante se, *a posteriori*, for cientificamente verificada, o que, no caso da *D. gnidium*, não aconteceu.

No decorrer do projeto didático com os estagiários da Universidade de Palermo, tendo em consideração esta linha de pensamento e tendo-se observado o comportamento expansivo da *Ruta chalepensis* L. num talude calcário da Tapada da Ajuda, julgou-se que a espécie poderia ser interessante na renovação de pedreiras de calcário. Na tentativa de encontrar informações sobre a capacidade de propagação vegetativa desta espécie só foi encontrada uma referência sobre o assunto num *website* de jardinagem (Growplant, s.d.). Nesta base, foi decidido testar a capacidade de enraizamento desta espécie por estacas, na primavera do 2014. Os resultados positivos foram apresentados no congresso AEIP-APENA-EFIB, 2014, em Espanha, através de um poster que se encontra no anexo IV.

1.8. Justificação, objetivos e estrutura da presente tese

O desenvolvimento da presente tese nasce da vontade de estruturar e sistematizar, segundo critérios científicos, os ensinamentos retirados no desenvolvimento de projetos de EN realizados no parque nacional do Vesúvio, em Itália, nos anos 1998-2005, e da vontade de tornar aplicável, ao território do continente português, o conhecimento adquirido sobre a estabilização e consolidação de encostas.

A ligação entre Itália e Portugal sobre este assunto ocorreu em 2004-2005 quando, através de um protocolo financiado pelo programa europeu “LEONARDO”, treze estudantes do curso de Engenharia Biofísica, da Universidade de Évora, prepararam o seu trabalho de fim de curso no parque nacional do Vesúvio.

Em Itália, o conhecimento sobre EN foi transmitido pelas universidades em poucas situações e só mais recentemente. Durante muito tempo, a divulgação da EN fez-se através da associação AIPIN e de entidades públicas, como o

parque nacional do Vesúvio e a Região Lazio. Por este facto, mais que um percurso de investigação sistemático, a principal vertente do conhecimento da EN foi desenvolvida através da divulgação dos modelos construtivos e o desenvolvimento de projetos, na área mediterrânica italiana.

Em Portugal, o desinteresse das entidades públicas, não devidamente estimuladas sobre as possibilidades oferecidas pela EN, e a escassez de projetos de EN, não permitiram a expansão desta técnica. Deu-se inclusive a extinção da licenciatura de Engenharia Biofísica na Universidade de Évora.

Nos últimos anos esta tendência está a inverter-se, sendo testemunho disso, os projetos recentemente realizados nos rios e vertentes de encostas, a importante adesão aos recentes eventos de divulgação da Associação Portuguesa de Engenharia Natural (APENA - fundada em 2007 pelo entusiasmo dos treze licenciados da universidade de Évora que estiveram no Vesúvio), e ainda, o recente projeto de licenciatura em “Biodiversidade e Conservação da Natureza”, da Escola Superior de Agrária de Coimbra, que integra a disciplina “engenharia natural” nas suas unidades curriculares. É neste quadro de acrescido interesse que este trabalho se insere, pretendendo dar a sua contribuição.

As linhas gerais traçadas para este trabalho de investigação, tendo em conta a obtenção de resultados aplicáveis, foram os seguintes:

- Contribuir para um melhor conhecimento dos modelos construtivos de EN orientados para intervenções em taludes e vertentes de encostas;
- Contribuir para o conhecimento da eficiência ecológica das intervenções de EN em regiões mediterrânicas;
- Definir, de entre as espécies da flora de Portugal continental, as mais adequadas para utilização em projetos de EN, e destas, as consideradas candidatas a testes para utilização em projetos de EN;
- Testar a capacidade de enraizamento adventício, ao longo do caule enterrado, das espécies candidatas; e
- Descrever analiticamente os parâmetros das raízes das plantas enterradas, bem como, detetar e analisar as relações entre as frações epigeia e hipogeia das referidas plantas.

Os quatro capítulos base que compõem esta tese foram redigidos em português ou inglês, de acordo com a língua original em que foram submetidos para publicação em revistas ou atas de congresso. A referência a cada uma das publicações encontra-se incluída numa nota de rodapé na primeira página de cada capítulo. Deste modo, excetuando pequenos melhoramentos introduzidos posteriormente, o conteúdo de cada capítulo reflete o teor dos trabalhos submetidos e publicados. No entanto, quando se comparam os diferentes capítulos entre si, revelam-se, nas suas introduções, pequenas incoerências e repetições de alguns aspetos metodológicos. Este facto deve ter em conta que os capítulos foram submetidos para publicação individualmente e terminados há bastante mais tempo.

Sendo diversos os parâmetros passíveis de serem investigados relativamente à estrutura das raízes das plantas, foi necessário estabelecer prioridades, tendo-se concentrado o esforço investido na preparação das espécies selecionadas e dos ensaios, bem como na sua extração e análise. Por este facto, relativo ao estudo das raízes, foram deixados de fora aspetos relevantes que mereceriam, sem dúvida, ter sido estudados, tais como: a determinação da resistência à tração das raízes, a distribuição tridimensional das raízes no espaço disponível; a dinâmica das raízes no solo e a influência dos fatores ambientais na diferenciação dos sistemas radiculares. Mas limitações materiais, de tempo e de recursos levaram à não realização destes estudos.

Referências bibliográficas

- AEIP (Ed.). 2014. COMUNICACIONES y PÓSTERS, *VIII Congreso AEIP, III Congreso APENA y VIII Congreso EFIB BIOINGENIERÍA e INFRAESTRUCTURA VERDE: una oportunidad para la biodiversidad y el empleo*, 23, 24 y 25 de octubre 2014 Vitoria-Gasteiz. http://www.aeip.org.es/index.php?option=com_content&view=article&id=226&Itemid=67
http://www.aeip.org.es/index.php?option=com_content&view=article&id=229&Itemid=66
 (consultado em 27/05/2015)
- AEIP. 2015. <http://www.aeip.org.es/> (consultado em 05/01/2015)
- AIPIN. 2015. <http://www.aipin.it/> (consultado em 05/01/2015)
- APENA. 2015. <http://www.apena.pt> (consultado em 05/01/2015)
- Aranzazu Prada, M., Aripze, D. (Eds.). 2009. *Guia de propagação de árvores e arbustos ribeirinhos, um contributo para o restauro de rios na região Mediterrânica*, Isa Press, Lisboa. p. 203.
- Arizpe, D., Mendes, A. & Rabaça, J.E. (Eds.) 2009. *Zonas Ribeirinhas Sustentáveis - um Guia de Gestão*, Isa Press, Lisboa, p. 285
- Bifulco, C. (Ed.). 2001. *Interventi di ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio*. PNV, San Sebastiano al Vesuvio 2001, p. 201
http://www.vesuviopark.it/pnv/comunicazione/libri/ING_NAT_media.PDF
 (consultado em 05/01/2015)

- Bifulco, C., 2011, 'Soil bioengineering and slopes; accessibility to the Vesuvius national park', In *Green infrastructures for biodiversity, Abstract proceedings*, Cascais, 28-30 Setembro 2011, p. 50-52
- Bischetti, G.b., Di Fi Dio, M., Florineth, F. 2014. On the origin of Soil Bioengineering, *Landscape Research*, 39/5 September 2014, p. 583-595
- British Columbia Ministry of Forests. 2001. *Best management practices handbook: hillslope restoration in British Columbia*, Res. Ten. & Eng. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Watershed Restoration Program, p.204, <http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/mr/Mr096.htm> (consultado em 04/10/2012)
- Caldeira Cabral, F. 1993. *Fundamentos da arquitectura paisagista*. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa, p. 220
- Câmara de Cascais (Ed.). 2011. *Green infrastructures for biodiversity, Abstract proceedings*, Cascais, 28-30 Setembro 2011 p. 55. http://www.cm-cascais.pt/sites/default/files/anexos/gerais/livro_resumos_forum_biodiversidade_2011.pdf (consultado em 2/2/2015)
- Câmara de Cascais (Ed.). 2012. *Soil Bioengineering and land management – new challenges. Abstract proceedings*, Cascais, 19-22 Setembro 2012, p.103. http://www.cm-cascais.pt/sites/default/files/anexos/gerais/livro_resumos_forum_biodiversidade2012.pdf (consultado em 2/2/2015)
- Cornellini, P., Federico, C., Pirrera, G. (Eds) 2008, *Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica, primo contributo alla morfometria degli apparati radicali*, Sicilia Foreste, Palermo, p. 330
- Cornellini, P., Sauli, G. (Eds.) 2012. *Principi metodi e deontologia dell'ingegneria naturalistica*, Regione Lazio, Roma. p.199 http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/wordpress/dettaglio.php?id=50 (consultado em 2/2/2015)
- Correia, F. 2013. 'Ensaio de espécies arbustivas da flora portuguesa para intervenções de engenharia natural'. Tese de mestrado, ISA - Universidade de Lisboa, <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/6973> (consultado em 05/05/2014)
- Correia, O. 2014. Monitorização e avaliação do sucesso da recuperação ecológica de uma pedreira calcária. PowerPoint slides *Seminário sobre Recuperação Ambiental de Pedreiras*. CCDR Algarve Faro 11/12/2014. <http://www.ccdr-alg.pt/site/sites/ccdr-alg.pt/files/eventos/ulisboa-otiliacorreia.pdf> (consultado em 2/2/2015)
- Duarte, M. 2014. Recuperação de pedreiras no Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros, PowerPoint slides *Seminário sobre Recuperação Ambiental de Pedreiras*. CCDR Algarve Faro 11/12/2014. <http://www.ccdr-alg.pt/site/sites/ccdr-alg.pt/files/eventos/icnf-manuelduarte.pdf> (consultado em 2/2/2015)
- Faria, C., Fabião, A., Pereira, M., Almeida, M.H., Fabião, A. 2008. *Contributo para a produção em Viveiro de plantas lenhosas ribeirinhas de qualidade*, Report do Protocolo INAG – ISA/UTAD “Valorização e Requalificação das Galerias Ribeirinhas na Área do Empreendimento de Odelouca”, https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1268/1/REP-Fabiao%2c%20A.-Faria_et_al_2008.pdf (consultado em 05-05-2015).
- Faria, C., Almeida, M.H. 2013. *Materiais Florestais de Reprodução de Espécies Lenhosas Ribeirinhas – Manual de Boas Práticas*. ISAPRESS, Lisboa, p.58.
- Fernandes, J.P., Freitas, A. 2011. *Introdução à Engenharia Natural*, EPAL, Lisboa, p. 107.
- Florineth, F. 2004. *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. 2007, Il verde editoriale, Milano, p. 280
- Growplants. s.d. *Ruta graveolens*. <http://www.growplants.org/growing/ruta-graveolens> (consultado em 05/03/2014)
- Guerrera, G., Bifulco, C., Pirrera, G., Calvo, R., Conti, G., Rizzo, F., Tagliabue, A., Trombino, G. 2014. *Progetto Messageri della conoscenza ID181: Ingegneria naturalistica per la progettazione paesaggistica in aree urbane e periurbane caratterizzate da clima mediterraneo*. Dipartimento di Architettura Università di Palermo, Palermo, p. 131

http://www.researchgate.net/publication/275080587_Ingegneria_Naturalistica_e_Paesaggio_mediterraneo_progetto_MIUR_messaggeri_conoscenza_ID181?channel=doi&linkId=553219b00cf27acb0deab579&showFulltext=true (consultado em 05/01/2015)

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau. 2015. 'Ingenieurbiologie, neue entwicklungen an fließ-gewässern, Hangen und Boschungen', *Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Verein für Ingenieurbiologie*, 1/2015, 25 p.4-89

Kutschera, L., Sobotik, M., Lichtenegger, E. 1997. *Bewurzelung von Pflanzen in verschiedenen Lebensräumen*, OÖ. Landesmuseum. Linz, p. 331

Kutschera, L., Lichtenegger, E.. 2002. *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*, Stocker, Graz und Stuttgart, p.604

Mendes, A. 2012. 'Gestão e Conservação de Ecossistemas Fluviais e Zonas Húmidas. Restauro e Cooperação como Instrumentos de Gestão', Tese de mestrado, ISA-UTL Lisboa. <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/5465/1/tese%20final%20Ana%20Mendes.pdf> (consultado em 27/05/2015)

Ministère de l'Écologie de l'Énergie du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. 2008. *Le génie végétal*, La documentation française, Paris, p.292

Missouri Botanical Garden. 2003. *Phytoremediation*. <http://www.mobot.org/jwcross/phytoremediation/> (consultado em 05/05/2015)

MIUR. 2012. *Decreto Direttoriale 21 settembre 2012 n. 567. Bando Programma messaggeri della conoscenza*. <http://attiministeriali.miur.it/anno-2012/settembre/dd-21092012.aspx> (consultado em 04/10/2012)

MIUR. 2013a. *Decreto Direttoriale 26 febbraio 2013 n. 346. Bando Programma messaggeri della conoscenza approvazione graduatoria*. http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/4b4c7dbf-3ecc-4e54-96b6-7a0d67d940e2/DD346_26Feb13_Graduatoria-DD567-Ric_21Set12.pdf (consultado em 01/03/2013)

MIUR. 2013b. *Decreto Direttoriale 26 febbraio 2013 n. 346. Bando Programma messaggeri della conoscenza approvazione graduatoria. Elenco progetti approvati e ammessi al finanziamento*. <http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/a68b820d-85d3-4513-abad-3f553e35f689/Graduatoria-Ammessi.pdf> (consultado em 01/03/2013)

Oliveira, G. 2014. Revegetação de taludes de pedra num parque natural – O caso da SECIL – Outão, PowerPoint slides *Seminário sobre Recuperação Ambiental de Pedreiras*. CCDR Algarve Faro 11/12/2014. <http://www.ccdr-alg.pt/site/sites/ccdr-alg.pt/files/eventos/ulisboa-gracaoliveira1.pdf> (consultado em 2/2/2015)

Pinto, M. 2014. 'O legado escrito de Francisco Caldeira Cabral. Construção do pensamento teórico em arquitetura paisagista. Tese de Mestrado, Universidade de Porto. <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/78204/2/11561.pdf> Consultado em (05/05/2015)

Pliz, A. 2014. Recuperação de pedreiras no Alentejo; as pedreiras da CEVALOR, PowerPoint slides *Seminário sobre Recuperação Ambiental de Pedreiras*. CCDR Algarve Faro 11/12/2014. <http://www.ccdr-alg.pt/site/sites/ccdr-alg.pt/files/eventos/cevalor.pdf> (consultado em 2/2/2015)

Piotto, B., Di Noi, A., 2001. *Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma, p. 211.

Robalo; I.M., Clemente, A, 2010. Intervenções de consolidação em taludes de estradas - Sementeiras (e Plantações), PowerPoint slides, *Curso Introdução à Engenharia Natural Universidade de Évora*

Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.). 2002. *Ingegneria naturalistica Manuale settore idraulico*, Regione Lazio, Roma. p. 421 http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/manuale_sett_idraulico.php?vms=1 (consultado em 2/2/2015)

Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.). 2006. *Ingegneria naturalistica Manuale studio versanti*, Regione Lazio, Roma. p.866 http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/manuale_versanti.php?vms=3 (consultado em 2/2/2015)

- Schiechtl H. 1973. *Bioingegneria forestale, basi, materiali da costruzione vivi, metodi*, 1985, Edizioni Castaldi, Feltre, p. 263
- Schiechtl, H., Stern, R., 1992. *Ingegneria naturalistica, manuale delle opere in terra*, Edizioni Castaldi, Feltre, p. 163.
- Schutz W. 1995. 'Il consolidamento delle scarpate lungo l'autostrada del Brennero con interventi di ingegneria naturalistica a distanza di 25 anni'. *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica, Esperienze europee, atti del congresso internazionale di Lignano Sabbiadoro 1992*. Patron Editore, Bologna, p. 215-225.
- Seidelbast. s.d. Propagation. <http://www.seidelbast.net/cultivation.html#Propagation> (consultado em 02/08/2012)
- Silva, A. 2014. Desafios e estratégias no âmbito da reabilitação de pedreiras e biodiversidade na SECIL. PowerPoint slides *Seminário sobre Recuperação Ambiental de Pedreiras*. CCDR Algarve Faro 11/12/2014. <http://www.ccdr-alg.pt/site/sites/ccdr-alg.pt/files/eventos/secil-alexandrasilva.pdf> (consultado em 2/2/2015)
- Silva, J. 2008. Técnicas de Engenharia Natural na Recuperação de Margens em Meio Mediterrânico. Aplicação à Ribeira de Algibre, powerpoint slides da *JORNADA La Bioingeniería en la Restauración Fluvial del Paisaje Mediterráneo*. Valencia, España, 27 Febrero 2008, www.rapidurable.eu/download.php?id=25 (consultado em 27/05/2015)
- Silva, J.S., Rego, F. 2003. 'Root distribution of a Mediterranean shrubland in Portugal', *Plant and Soil*, 255 (2), p. 529-540
- United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 1992a, 'Chapter 16 Streambank and Shoreline Protection', *Engineering Field Handbook*, <ftp://ftp-nhq.sc.egov.usda.gov/NHQ/pub/outgoing/jbernard/CED-Directives/efh/EFH-Ch16.pdf> (consultado em 04/10/2012)
- United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 1992b, 'Chapter 18 Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction', *Engineering Field Handbook*, <ftp://ftp-nhq.sc.egov.usda.gov/NHQ/pub/outgoing/jbernard/CED-Directives/efh/EFH-Ch18.pdf> (consultado em 04/10/2012)
- Zeh H. (1988) *Opere di ingegneria naturalistica sulle sponde, tecniche costruttive ed esempi nel cantone di Berna*. 1993. Ministero dell'ambiente, Servizio Valutazione Impatto Ambientale, Informazione ai cittadini e per la Relazione sullo Stato dell'Ambiente, Roma.

3. ENGENHARIA NATURAL NA REABILITAÇÃO DE TALUDES E VERTENTES¹

Resumo

A engenharia natural (EN) é largamente aplicada na Europa, no entanto o seu uso em Portugal é ainda reduzido. Acresce ainda, o pouco conhecimento de espécies vegetais que se adaptam a este tipo de intervenções que, por sua vez, utilizam como materiais base, fundamentalmente, plantas, estacas e sementes. No sentido de dotar o país de um maior conhecimento sobre a matéria, no Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves / ISA, em Lisboa, estão em curso ensaios para a determinação, de entre as espécies vegetais do ecossistema português, quais as mais adaptadas aos esquemas construtivos da EN. Pretende-se, com este conhecimento, poder contribuir para uma execução mais alargada e eficaz das obras de EN em Portugal. Nesta comunicação apresenta-se um quadro síntese das técnicas desta disciplina que podem ser usadas em âmbito rodoviário no sentido de mitigar fenómenos erosivos e conter deslizamentos de terra através do revestimento de encostas, da estabilização de superfícies e da consolidação de taludes. Com estas técnicas, e escolhendo as espécies adequadas, é possível a renovação sustentável de taludes e aterros resultantes da construção de estradas, melhorando os impactos negativos que lhe estão associados, em termos ecológicos, paisagísticos, de ruído e poluição.

Palavras-chave: Materiais vivos; técnicas de EN; estabilização de vertentes; consolidação de taludes; controlo da erosão.

SOIL BIOENGINEERING TO REPAIR SLOPES AND LANDSLIDES

Abstract

The soil bioengineering (SB) is widely applied in Europe, but in Portugal its use is still reduced, as it is limited the knowledge about plant species which are suitable for this kind of projects, that use plants, cuttings, and seeds as main materials. To contribute to overcome this situation, experimental tests are ongoing at the Center for Applied Ecology Prof. Baeta Neves / ISA, in Lisbon, to determine plant species of the Portuguese ecosystem suitable to be used in SB

¹ Baseado na comunicação oral: Bifulco C., 2013, 'Engenharia Natural na reabilitação de taludes e vertentes', 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, 10-12 abril 2013, LNEC, p. 1-11

construction plans. This communication presents a summary table of the techniques used in this discipline, which can be used along the roads, to fix and prevent erosion and landslides, by slopes surface coating, stabilization of the surfaces, and consolidation of the slopes. With these techniques and choosing the appropriate species, it is possible the sustainable renovation of slopes and embankments resulting from the roads construction, improving the negative impacts associated, in ecology and landscape terms and also to reduce noise and pollution.

Key-words: Living materials; SB techniques; slope stabilization, scarps consolidation; erosion control.

L'INGEGNERIA NATURALISTICA PER LA RIABILITAZIONE DI VERSANTI E SCARPATE

Riassunto

L'Ingegneria naturalistica (IN) é largamente applicata in Europa, ma in Portogallo il suo impiego é ancora ridotto, come é limitata la conoscenza delle specie vegetali che sono adatte a questo tipo di progetti, che utilizzano come materiale principale piante, talee, semi. Per contribuire a superare questa situazione sono in corso presso il Centro di Ecologia Applicata Prof. Baeta Neves / ISA, in Lisbona, delle prove sperimentali per determinare le specie vegetali dell'ecosistema portoghese piú idonee ad essere impiegate nei progetti di IN e nei suoi schemi costruttivi. In questa comunicazione si presenta un quadro sintetico delle tecniche di questa disciplina, che possono essere usate lungo le strade, per sistemare fenomeni erosivi e franosi e prevenire dissesti e smottamenti, attraverso il rivestimento superficiale dei versanti, la stabilizzazione delle superfici e il consolidamento delle scarpate. Con queste tecniche e scegliendo le specie adeguate é possibile la ristrutturazione sostenibile di scarpate e terrapieni, migliorando le loro funzioni paesaggistiche cosí come il loro impatto nell'ambiente circostante.

Parole-Chiave: Materiali vivi; tecniche di IN; stabilizzazione di versanti; consolidamento di scarpate, controllo dell'erosione.

2.1. Introdução

Engenharia Natural (EN) é uma expressão portuguesa equivalente à alemã *Ingenieurbiologie*, à italiana *ingegneria naturalistica*, à francesa *génie biologique*, à espanhola *ingeniería del paisaje*, à inglesa *soil bioengineering*, que consiste num conjunto de métodos e técnicas que se caracterizam por utilizar, como principal material de construção, plantas.

As plantas, organismos vegetais capazes de utilizar a energia radiante do sol por produzir biomassa, são a base da pirâmide alimentar, mas esse está longe de ser o seu único uso. Na tentativa de melhor compreender a extensão do uso das plantas, será útil introduzir-se a etnobotânica, ciência que estuda o uso e a percepção das espécies vegetais na sociedade humana. Esta ciência, inicialmente aplicada em sociedades primitivas, é hoje genericamente utilizada para analisar os diversos usos das plantas, numa determinada área geográfica, e de entre eles, o uso das plantas nas práticas rituais e as suas aplicações ligadas à sabedoria popular, como remédio médico e veterinário, e como matéria-prima numa panóplia de situações, nomeadamente construção, artesanato e manufatura, para além das utilizações agrícolas em outros usos alimentares.

A utilização técnica de plantas e raízes, já é referido por Leonardo da Vinci (1452-1519) no que concerne a construção dos canais e proteção das margens dos rios: “*As raízes dos salgueiros permitem que os taludes dos canais navegáveis não se desagreguem; os ramos de salgueiro colocados transversalmente, ou seja na direção da corrente, e podados anualmente na base, tornam-se mais grossos, permitindo, desta maneira, obter uma margem viva e compacta*” (sem data, citado por Schlueter, 1984).

No mesmo sentido, em 1900, no livro “*Le Portugal au point de vue agricole*” (Costa e Castro, 1900), a propósito do *Salix salviifolia*, refere-se “*os salgueiros são cultivados nas beiras das linhas d’aguas para fixar e proteger a terra*”.

Em Portugal, no século XVIII, corria o ano de 1790, José Diogo Mascarenhas Neto, Superintendente Geral das Estradas de 1791 à 1805, preconiza o uso de plantas na construção das estradas, no seu livro intitulado “*Methodo para construir as estradas em Portugal, dedicado ao Senhor Dom João Príncipe do Brasil*”.

Inspirar-se na observação da natureza e procurar imitá-la, tentando encontrar soluções para problemas técnicos, é hoje um objetivo mais geral da biomimética, *biomimicry* em inglês, método de estudo aprofundado e divulgado por Janine Benyus (1997). Muitos são os exemplos de imitação de formas, processos, sistemas e estratégias encontradas na natureza, para resolver os problemas humanos; talvez o mais famoso é a invenção do VELCRO®.

Os primeiros métodos e técnicas de EN foram desenvolvidos na Europa central aquando da sua aplicação, em larga escala, nos trabalhos de construção da autoestrada do Brenner nos Alpes austríacos. Entre os resultados mais relevantes destas experiências dá-se nota da identificação de salgueiros, especificamente *Salix purpurea* L., como espécies muito úteis nas obras de EN e da demonstração que a colocação das estacas vivas em posição sub-horizontal permitia o desenvolvimento de um maior número de raízes (Schiechtl, 1973).

Tendo o autor do presente trabalho sido diretor do parque nacional do Vesúvio entre 1997 e 2005, pode constatar que a transferência da metodologia utilizada nos Alpes, como uma cópia, para aquele parque nacional, uma área geográfica de clima mediterrânico, não teve êxito. As estacas de salgueiro, depois de enraizarem e rebentarem na primavera, não conseguiram ultrapassar o verão do Sul italiano e secaram. A EN deveria ter sido adaptada às condições locais do clima e da flora. E de facto, seguidamente foi o que aconteceu (Bifulco, 2001).

Apesar das inúmeras potencialidades da EN existe a consciência de que ela não é uma panaceia que resolverá todas as questões.

O trabalho que aqui se apresenta, tem como principal objetivo dar nota de quais as técnicas de EN que poderão ser aplicadas na resolução dos problemas causados pelos declives das vertentes e taludes que derivam da construção de estradas, diferenciando-as segundo o seu objetivo funcional.

Relembrando, no entanto, outras aplicações da EN, como a estabilização de encostas após os grandes incêndios florestais e a estabilização das margens dos rios, e a aplicação das capacidades biotécnicas das plantas no caso da fito-remediação, *phytoremediation* em inglês ou *fitodepurazione* em italiano.

2.2. Engenharia natural: oportunidades e limitações

As técnicas de EN resultam de uma estratificação de conhecimentos que se inicia na época moderna (Schlueter, 1984) embora sem um enquadramento sistemático específico, como aconteceu com outras disciplinas contemporâneas da engenharia. De facto, a sistematização desta matéria é muito recente e deve-se a Schiechl (1973), que retoma também o património de conhecimento elaborado por Kreudener e Hassenteufel nos anos 30. Desde que ele iniciou a aplicação das técnicas de EN, em 1948 no Tirol, Alpes Centrais, originou-se um processo que levou, a partir dos anos 80, à publicação de diversos artigos e livros sobre a matéria e à constituição de associações profissionais de nível nacional, posteriormente federadas (1995) na Associação Europeia de Engenharia Natural (EFIB).

São muitas as classificações das técnicas usadas pela EN. Uma delas, bastante comum, diferencia-as em dois grupos principais, segundo o local de execução da obra: intervenções (i) em áreas ribeirinhas e rios ou (ii) em taludes e vertentes. No entanto, em ambas as situações existem modelos e elementos construtivos que são comuns, sendo que, para o segundo grupo, devido à carência de água, as condições de sucesso das intervenções são significativamente mais dificultadas.

As técnicas de maior interesse para a construção de estradas classificam-se segundo o seu objetivo funcional (Sauli *et al.*, 2006):

- técnicas de revestimento superficial anti-erosão;
- técnicas de estabilização superficial; e
- técnicas de consolidação, com construção de obras de suporte.

A escolha dos *materiais vivos* a utilizar é um passo crucial no processo de determinação da técnica de EN mais adequada a uma obra específica, é por isso determinante referi-los: (i) sementes, principalmente para o caso de espécies herbáceas; (ii) estacas vivas de vários diâmetros e comprimentos, de espécies arbustivas ou arbóreas que revelem ter capacidade de propagação vegetativa; e (iii) plantas. Uma outra particularidade de grande importância, relativa a escolha destes materiais vegetais, é a restrição ao uso de espécies autóctones. Critério sustentado por Bifulco e Rego num artigo publicado relativo a questões de ecologia aplicadas à seleção das espécies a utilizar (2013).

Os objetivos principais da EN em encostas são a recuperação e a estabilização do solo e a prevenção de deslizamentos de terra. Para os atingir é obrigatório limitar o escoamento superficial da água e dos fluxos sub-superficiais de infiltração. As técnicas de EN baseiam-se na construção de obras ligeiras e permeáveis, onde a diferença entre a permeabilidade da obra e a do terreno envolvente é atenuada, permitindo conter o aumento das pressões hidráulicas no solo. As técnicas que usam barreiras impermeáveis, como as de betão têm um efeito contrário. Quando os fluxos superficiais são impedidos de fazer o seu curso, as águas concentram-se, resultando num aumento da sua força e consequentemente da sua capacidade erosiva. A acumulação de fluxos subterrâneos poderá desencadear, no solo, processos de separação de diferentes camadas de terreno e provocar deslizamentos.

As raízes das plantas usadas na EN entrelaçam, armam e estabilizam o terreno, favorecendo a sua porosidade e, com os exsudados radicais, a coesão das suas partículas, melhorando o ângulo de atrito interior. As raízes promovem também a infiltração profunda das águas sub-superficiais.

Nos últimos anos têm-se definido métodos para o cálculo das forças envolvidas na construção das obras de EN e determinado quais as suas dimensões máximas, por forma a assegurar o respeito pelos critérios de segurança (Florineth, 2004; Sauli *et al.* 2006). Um parâmetro importante para definir qual a técnica mais eficaz é o ângulo de declive da encosta a intervir. Outro elemento geométrico relevante é a dimensão máxima da intervenção, intimamente ligado à profundidade máxima atingida pelas raízes e às condições da coesão do terreno. Apesar disto, nem sempre as técnicas de EN podem ser utilizadas. Estas resultam pouco eficazes quando se trata de deslizamentos em escarpas sub-verticais de rocha. Nestes casos, onde quase não há terreno para o desenvolvimento das raízes das plantas, estas funcionam como uma cunha, levando ao fracionamento das rochas e ampliando o risco de desabamento. Existem limites de altura máximos para as intervenções de EN, sobretudo no caso de escarpas com elevado declive, que poderão ser ultrapassados quando há a possibilidade de se fracionar a intervenção em socacos, dividindo uma grande área de intervenção em diversas parcelas e aplicando as técnicas de EN em cada uma delas.

A penetração das raízes no terreno não é um fenómeno instantâneo. Por isso, quando se pretende um efeito estabilizador imediato, interessa, por um lado, facilitar a germinação das sementes e melhorar as características do terreno usando adubos e palha, e por outro, usar conjugadamente *materiais mortos* como: postes de madeira, ramos secos, pedras de mão, tecidos de fibra vegetal, e ainda, pregos, grampos e arame para os fixar e juntar. A produção industrial disponibilizou outros *materiais mortos* em material sintético, como tecidos, redes e grelhas, todos estes menos deterioráveis, mas também menos naturais.

Nas obras de EN realizadas no parque nacional do Vesúvio, Itália meridional, durante o período 1998-2000 (Bifulco, 2001), ao importar as técnicas alpinas para um ambiente mediterrâneo, verificou-se pouco viável o uso de estacas que era o material vivo de uso mais frequente na Europa. Este facto originou a necessidade de inovar e decidiu-se experimentar a utilização de plantas, colocando-as de acordo com os esquemas construtivos das estacas, enterradas sub-horizontalmente. A eficácia deste método permitiu que o uso de plantas, em detrimento de estacas, fosse posteriormente difundido para outras áreas da Itália central e meridional. Atualmente, em obras de encosta, longe de rios e em clima mediterrânico, as estacas vivas são usadas sobretudo como complemento das plantas.

As técnicas desenvolvidas pela EN permitem, em curtos prazos e até em difíceis condições, instalar uma superfície coberta de vegetação. Esta capacidade permite destacar o papel estético de um revestimento verde, para além do desempenho estrutural da EN.

2.3. Engenharia natural: as suas técnicas

Em 1790 José Diogo Mascarenhas Neto, descreve as técnicas para construir estradas quer nas planícies, quer nas áreas de montanha. Para a estruturação dos taludes o autor indica, como principal matéria-prima, as pedras grossas, mas *“quando o sitio não contem pedra, ou que esta não se consegue sem longo careto... se devem semear as grammas, ou qualquer outra hervas, das que enlaço as raízes, pois com isto fazem mais duráveis os marachõens”*. Seguidamente debruça-se sobre os benefícios indiretos das árvores que ladeiam as estradas: *“Todos os confinantes das estradas devião ser obrigados*

a plantar arvores,.... as que de verão contém mais folha, e de inverno se conservação sem ella....”, isto com o objetivo de, no verão, permitir a sombra e a retenção da poeira junto à estrada e, no inverno, “ter sol para agasalhar os viajadores e ter enxuto o corpo da estrada”.

Desde o século XVIII e mesmo antes, no tempo de Leonardo da Vinci, o uso das plantas com a função de fixar o terreno das encostas ou taludes, passou de intuição a método. É sobre essa metodologia agora vigente que se debruçarão os próximos subcapítulos, dando-se nota do *estado atual da arte*.

2.3.1. Revestimento superficial

O objetivo das técnicas de revestimento superficial é o de constituir, com a parte aérea das plantas, uma proteção para as superfícies potencialmente expostas às forças erosivas do impacto das gotas de chuva (*splash erosion*) e das águas de escoamento superficial. Paralelamente, os sistemas radiculares reforçam a estrutura e coesão dos estratos superficiais do solo. Nestes casos, as plantas mais utilizadas são herbáceas, propagadas por semente, que permitem a instalação de uma cobertura de solo mais rápida e económica por oposição a uma cobertura de árvores ou arbustos.

As técnicas utilizadas derivam fundamentalmente da sementeira a lanço, vulgarizada na agricultura. Outras técnicas de sementeira, aplicáveis em situações mais difíceis, são reforçadas com outros materiais e métodos que promovem a melhoria das condições do solo e facilitam a germinação das sementes, ajudando-as a fixar-se em taludes íngremes, protegendo-as do arranque pelo vento e água e da predação de aves ou roedores. Schiechtl (1973) descreve as técnicas de cobertura de taludes através da sementeira, da seguinte forma:

- sementeira a lanço;
- sementeira com sementes obtidas da secagem do feno;
- hidrossementeira;
- sementeira com cobertura de proteção;
- sistema SCHIECHTELN ®;
- sementeira com espuma; e
- instalação de esteiras previamente semeadas, de materiais vegetais e reforçados com arame ou fibras plásticas.

Com as técnicas referidas consegue-se, no curto prazo, obter uma cobertura de plantas cujas raízes penetram no estrato superficial do terreno. O uso de algumas leguminosas pode permitir atingir uma profundidade de um metro.

A garantia de sucesso de uma sementeira prende-se com a escolha adequada da mistura de sementes a utilizar. Esta mistura deve, com sucesso, adaptar-se às condições do solo e do lugar onde se pretendem implantar. Os taludes resultantes de escavações, ou os aterros, ficam, em regra, despidos de vegetação. A primeira cobertura de plantas, originada pelas sementes que inicialmente colonizam estes solos, é uma primeira associação florística de espécies pioneiras. Esta evoluirá através da germinação de sementes das plantas da área circundante ou no banco de sementes armazenado no próprio terreno. Neste contexto, foi realizada uma obra de EN, um muro vivo de suporte, na Tapada de Ajuda, Lisboa, no ano de 2009, com o intuito demonstrativo e de experiência didática. Nesta obra semearam-se sete herbáceas e plantaram-se três espécies arbustivas. Após um ano foram identificadas quarenta espécies de plantas típicas do pousio existente nos terrenos em redor.

A hidrossementeira, técnica muito divulgada, consiste numa mistura fluida que contém sementes, fertilizantes, fibras, colantes e água, e por vezes terreno fino, e é colocada num tanque sob pressão para ser espalhada pelo solo com mangueira. De facto, concentra-se numa só operação a prática da uma sementeira com cobertura de proteção e rega. A implementação desta técnica carece de maquinaria pesada, cujo transporte implica uma zorra, o que limita a sua aplicação em locais de pior acesso. O abastecimento e a capacidade do tanque onde é armazenada a mistura levam a que a sua utilização seja considerada, principalmente, para superfícies mais acessíveis.

A sementeira com cobertura de proteção, normalmente palha, é a solução mais frequente para superfícies mais pequenas e menos acessíveis. Nas figuras seguintes (Fig. 2-1 e 2-2) apresenta-se um exemplo deste tipo de técnica, utilizada na Tapada da Ajuda, Lisboa.

O sistema SCHIECHTELN® é uma sementeira em que se aplica uma cobertura de proteção, que consiste em palha molhada com uma emulsão de água e betume, para favorecer a sua união ao solo em condições desfavoráveis de vento e declive e para absorver mais energia radiante do sol.



Fig. 3-1 Sementeira com cobertura de proteção de palha, Tapada da Ajuda, Lisboa (07/2012).



Fig. 3-2 O mesmo local 3 meses após sementeira (10/2012).

As esteiras têm a função de estabelecer um revestimento imediato do terreno. Estas podem incorporar ou não sementes. Atualmente, as esteiras sem incorporação de sementes são as mais difundidas, permitindo escolher e adaptar a mistura de sementes às condições do solo e lugar, num momento sucessivo à sua produção. As esteiras, usadas pela primeira vez nos EUA nos anos 60, têm sido objeto de extensa produção industrial que utiliza diferentes materiais, biológicos e/ou sintéticos, dispostos em camadas, podendo ter diferentes formatos. Presentemente existem diversas categorias comerciais (Ligato *et al.*, 2002) como: mantas de fibra vegetal, geo-esteiras, geo-redes, geo-feltros, geo-grelhas tridimensionais. As esteiras de material sintético podem ter uma espessura que lhes permita funcionar como suporte de uma camada de terreno, devendo para isso ser pregadas ao solo, favorecendo assim a viabilidade das sementes e o crescimento das plantas. A colocação das esteiras, enquanto cobertura de proteção, poderá ser rápida e ser revestida de êxito, desde que realizada sobre superfícies sem sulcos ou outras irregularidades. Caso não exista contacto entre esteira e terreno, as águas podem escoar-se por baixo e continuar os processos erosivos. Nestas condições de falta de aderência ao terreno, as plântulas, resultantes da germinação das sementes incorporadas na esteira, morrem pois não dispõem de terreno para enraizar.

Para obter resultados mais imediatos, para além das técnicas referidas, deve mencionar-se (Schiechtl, 1973) o transplante de “tapetes” de relvado previamente cultivado. O solo onde se cultiva este tapete é, regra geral, rico em húmus e fertilizantes e o terreno onde se pretende intervir é, normalmente, pobre em nutrientes. Nestes casos, as raízes das plantas ficam no “tapete” e não penetram o novo terreno. O relvado apenas se mantém devido à existência

de pregos usados na sua fixação. Quando este fenómeno ocorre e se está em presença de declives é fácil que pedaços do relvado se possam destacar e deslizar. Este tipo de material muito dispendioso aplica-se, na atualidade, em obras de âmbito urbano ou em obras com fins mais estéticos que estruturais, em que se procura um efeito imediato.

2.3.2. Estabilização superficial

Na EN as estacas vivas de *Salix spp.* são o material de construção mais usado nas descrições da literatura consultada. De facto, os primeiros relatos e aplicações foram em ambiente alpino onde as estacas de *Salix spp.*, mais que outras folhosas disponíveis localmente, tinham percentagens de enraizamento muito favoráveis e eram de fácil manuseamento devido à sua flexibilidade. Nesta situação, o transporte ou aquisição de outras plantas não se revelava de qualquer interesse.

As técnicas de estabilização superficial são resultado da evolução de práticas usadas em trabalhos florestais onde é estabelecido o uso de estacas vivas, ou destas em conjunto com plantas. As principais técnicas referidas (Schiechtl, 1973) são:

- entrançados vivos;
- cordões vivos;
- faxinas vivas; e
- faixas de vegetação.

Entrançados são uma prática sobre a qual há das mais antigas descrições, como as mencionadas no “De Bello Gallico” de Júlio Cesar (50 a.C., citado por Sauli *et al.*, 2006). Trata-se da colocação, em curva de nível, de uma linha de paus enterrados verticalmente. Ao longo dessa linha enterram-se também estacas, finas e longas, de vime cujas partes aéreas se entrelaçam horizontalmente nos paus. Esta estrutura de vimes entrelaçados nos paus cria uma barreira com cerca de 20-30 cm de altura ao longo da linha de cota de modo de reter eventuais pequenos movimentos de terra. Nesta técnica, o contacto dos vimes com o terreno é muito limitado o que leva a uma diminuta capacidade de emissão radicular e a eventualidade do vime secar antes de enraizar. Se, com brevidade, não se acumula terreno atrás do entrançado, este

perde parte do efeito protetor sobre o escoamento superficial da água, sendo facilmente atravessado por esta.

Cordões vivos são construídos com estacas vivas e plantas colocadas verticalmente numa banquetta escavada no declive. As estacas vivas e as plantas são colocadas sobre uma estrutura de troncos de madeira e ramos mortos. A banquetta é posteriormente coberta com o aterro da banquetta superior. Esta técnica, também uma das mais antigas, é de execução dispendiosa. Surgiu como uma adaptação daquela usada nos trabalhos de reflorestação das encostas secas da Europa mediterrânea. Um exemplo destes trabalhos são os desenvolvidos nas encostas cobertas de cinzas vulcânicas depois da erupção do Vesúvio, em 1906 (Lacava, 1913). Mais recentemente é referenciada por Florineth (2004) uma variante, mais económica e eficaz, com o mesmo nome, “cordões vivos”. Esta técnica coloca um poste de madeira, em curva de nível, pregado à encosta com varas de aço, atrás do qual se escava, uma pequena banquetta, na qual se dispõem estacas vivas sub-horizontalmente que são posteriormente cobertas com o aterro da banquetta superior.

Faxinas vivas consistem numa técnica eficaz que usa os ramos de *Salix spp.* unidos em feixes. Estes são inseridos em sulcos escavados no terreno, profundos quanto a espessura do feixe, que depois completamente cobertos de terra. Nesta técnica, descrita pela primeira vez em 1936, o contacto dos ramos com o terreno faz-se ao longo de todo o seu comprimento, facilitando o enraizamento e permitindo um maior taxa de pegamento das estacas. Os feixes colocados no terreno têm ainda um efeito de dreno e os novos rebentos têm a função de reter os eventuais movimentos do terreno. Para a execução desta técnica é necessário uma grande quantidade de ramos de *Salix spp.* longos e flexíveis, nem sempre fácil de obter. Em circunstâncias de falta de material vivo, e sendo difícil que o terreno disponível envolva a totalidade do interior do feixe não permitindo o enraizamento dos vimes mais internos, se utilizam ramos mortos no núcleo do feixe.

Faixas de vegetação são a técnica mais eficaz e eficiente de estabilização superficial. A sua construção faz-se escavando socalcos na encosta, ao longo das curvas de nível, onde se enterram estacas vivas e/ou plantas, de árvores e arbustos, colocadas horizontalmente e cobertas de terra em dois terços da extensão do seu caule, normalmente entre setenta centímetros e um metro. As

espécies de plantas usadas deverão ser capazes de emitir raízes adventícias ao longo do caule enterrado. Esta técnica tem um efeito estabilizador mais imediato, pois utiliza a função estrutural do caule/estaca enterrada e adiciona-lhe o efeito agregador das raízes basais e adventícias. Na descrição desta técnica, Schiechtl (1973) define pela primeira vez os princípios e efeitos da instalação de plantas horizontalmente com o caule enterrado, diferente das habituais práticas florestais de plantação.

2.3.3. Consolidação e obras de suporte

Quando a profundidade do terreno a consolidar atinge os dois metros (limite para além do qual se assume que as raízes não conseguem estruturar o terreno) e necessita de obras de suporte, as plantas/estacas são usadas em simultâneo com materiais mortos que apresentam em si capacidade de consolidação estática. Podem ser usados como materiais mortos: postes de madeira, pedras de grande dimensão para a realização de enrocamentos vivos, ou pedras de mão encaixadas em cestos de rede metálica em forma paralelepipedica, vigas de betão pré-moldado, redes metálicas em conjunto com mantas vegetais ou geo-tecidos sintéticos. O uso de postes de madeira deve ter em conta que a sua função de estrutura tem uma determinada vida útil, variável de acordo com o tipo de lenho. Monitorizações de antigas obras permitem avançar com um valor de dez anos para pinho e trinta para castanho. No decorrer deste tempo, estas estruturas de madeira serão substituídas pelas raízes de árvores e arbustos. De seguida referenciam-se estas técnicas, bem como o ano da sua primeira aplicação, referido pela literatura (Schiechtl, 1973):

- enrocamento vivo, 1934;
- muro vivo de suporte com postes de madeira, 1934;
- grade viva; 1956.
- muro vivo de suporte com vigas de betão armado pré-moldado, 1960; e
- gabiões combinados com estacas, 1965;

Em 1966, o francês Vidal mencionou uma nova técnica chamada “terra armada” (Schlosser e Vidal, 1969), que foi posteriormente alterada para “terra reforçada”, quando se introduziu o uso de estacas no revestimento da escarpa (Ligato *et al.*, 2002). As obras realizadas com recurso a estas técnicas comportam-se e são semelhantes às de um muro de gravidade, com todas as

suas características. No caso do uso de pedras, vigas de betão armado, redes metálicas e geo-tecidos sintéticos, serão estes a caracterizar a obra e a sua durabilidade, deixando ao terreno uma função de inerte e às plantas um papel estético, contrariamente ao uso de postes de madeira que, expostos à deterioração natural deixam às raízes das plantas a verdadeira função estrutural. Estas técnicas têm muitas variantes, ligadas sobretudo às estratégias comerciais dos produtores, materiais e plantas a usar. São várias as alternativas que surgem minimizando o uso da madeira e as que procuram soluções para casos específicos.

Nas áreas de clima mediterrânico, o stresse climático, nomeadamente no período estival, pode ser prolongado e pode afetar a velocidade de crescimento de árvores e arbustos. Neste tipo de clima e em encostas secas é preferível o recurso a técnicas de consolidação, em detrimento das de estabilização superficial, nomeadamente aquelas que usam postes de madeira, que é um material menos pesado relativamente a outros. As obras podem ser complementadas posteriormente com um revestimento superficial. As figuras a seguir apresentadas (Fig. 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7 e 2-8) evidenciam uma obra onde se agrega a técnica da grade viva com a do muro vivo de suporte, realizadas em solo de cinzas de piroclastos vulcânicos no parque nacional do Vesúvio. As figuras mostram a sequência dos trabalhos realizados na obra desde o início da sua realização, em maio 2004, até um ano após o início, maio de 2005.



Fig. 3-3 Obra combinada realizada no parque nacional do Vesúvio (Itália). 1ª Fase: Construção do muro vivo, maio 2004



Fig. 3-4 2ª Fase: Construção de grade viva, maio 2004



Fig. 3-5 Vista geral da estrutura de postes de madeira, junho 2004



Fig. 3-6 A obra em novembro 2004



Fig. 3-7 A obra em março 2005

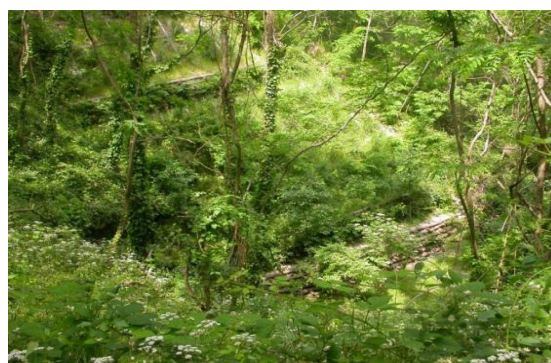


Fig. 3-8 A obra em maio 2005

2.3.4. Drenagem superficial

As plantas, com a sua função de evapotranspiração, facilitam a absorção da água do solo, no entanto, é importante referir que a presença de plantas, só por si, pode não ser suficiente para diminuir a presença de água no subsolo. Assim as obras de drenagem superficial e subterrânea complementam as obras de estabilização e consolidação das encostas ou vertentes instáveis.

Normalmente os drenos superficiais são realizados com elementos de betão pré-moldados, embora numa encosta onde seja difícil a construção de banquetas e de valetas, poderão ser instaladas faxinas vivas com função de dreno. Estas devem ser enterradas abaixo da linha de superfície da encosta e colocadas segundo a direção do máximo declive, por forma a permitir o escoamento das águas quer através dos próprios feixes, quer através de um tubo de drenagem colocado sob a faxina e assente em brita, quando o feixe não tem efeito drenante suficiente.

Outra possibilidade oferecida pela EN é a construção de valetas vivas. Nestes casos a vala de drenagem é “forrada” com estacas vivas, que possam enraizar,

e o fundo é constituído por pedras de mão assentes no solo. Estas pedras devem ser colocadas com a parte mais bicuda para o exterior, se estiver em causa a necessidade de dissipação da energia cinética da corrente de água. A energia da água pode ser ainda mais dissipada dispondo transversalmente, na valeta, rolos de pedras de mão envolvidos em rede metálica.

2.4. Engenharia natural: sua aplicação nas estradas da Europa mediterrânica

O envolvimento inicial da EN nos trabalhos de construções de estradas, para a estabilização e consolidação de taludes, dá-se, sobretudo, pelo facto de ser uma técnica muito económica e pela capacidade de atenuar significativamente os efeitos devido à erosão em solos nus. Hoje, para além destas características, é muito relevante o seu papel na mitigação dos impactos ambientais e na acentuada incorporação de mão-de-obra, questão não desprezável na sociedade atual com elevadas taxas de desemprego.

Por vezes, os elementos arquitetónicos de uma estrada são obras que se destacam positivamente na perceção da paisagem, outras vezes, é importante mitigar os seus impactos, recuperando a natureza dos lugares.

Os taludes escavados nas encostas (Fig. 2-9, 2-10) e os aterros, ambos sujeitos à erosão, podem ser reparados, evitando os fenómenos de erosão e deslizamentos de terra e obstando a que se apresentem como uma “ferida na paisagem”.



Fig. 3-9 Talude, A21, nó da Malveira (07/2012)



Fig. 3-10 Talude, detalhe, A21, nó da Malveira (07/2012)

Com as técnicas de EN pode-se criar um “manto” verde que cubra e ajude a fixar os solos dos taludes junto das entradas, túneis e à volta das pontes e viadutos. Finalizada a obra pode-se recuperar e reutilizar as zonas de estaleiros como áreas de recreio e lazer, assim como os percursos de

circulação, depósitos de inertes e pedreiras. Nos locais onde existe passagem de animais selvagens e é necessário construir acessos entre os dois lados da estrada, pode-se atenuar a artificialidade dessas construções recorrendo à EN.

Para além disto, pode-se favorecer a capacidade de absorção da água de escorrência nas valetas construindo pequenos canais, utilizando plantas e pedras de mão e “forrando” o fundo dessas valas, ajudando também à retenção de grande parte dos elementos poluentes antes de os enviar para os coletores. É ainda possível a utilização da EN para desviar o curso das linhas de água, construindo canais que assumirão, no curto prazo, um aspeto natural.

As técnicas de EN podem ser utilizadas para criar uma barreira anti-ruído e poeira através da utilização de arbustos e terra. De facto, arbustos e árvores a ladear as estradas têm o efeito de absorção e redução de ruídos e poeiras.

Definidas as técnicas a utilizar, é necessário proceder ao escolher as espécies. Para evitar impactos ambientais indesejáveis deve-se evitar a utilização de espécies exóticas. De facto, muitas delas têm demonstrado um comportamento invasivo. Caso típico desta situação, referido por Moreira da Silva (1989) é o caso da *Acacia dealbata* Link, usada nos taludes das estradas do parque nacional da Peneda Gerês. O leque de espécies autóctones, árvores e arbustos, da flora portuguesa, testado (Bifulco e Rego, 2013) e considerado adequado à EN, é muito limitado e refere-se sobretudo a plantas ribeirinhas. Com o objetivo de alargar as alternativas de escolha e de permitir intervenções em locais mais secos, estão atualmente em curso ensaios sobre o enraizamento adventício de *Fraxinus angustifolia* Vahl., *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Viburnum tinus* L., em parcelas de amostragem localizadas em Santo Tirso e Lisboa, em solos de origem basáltica, calcária, granítica e xistosa. Os resultados observados serão descritos no capítulo 5 deste trabalho. Na Figura 2-11 observa-se um muro vivo de suporte realizado na Tapada da Ajuda, Lisboa, em outubro de 2012, utilizando as espécies acima referidas.



Fig. 3-11 Muro vivo de suporte, Tapada da Ajuda (10/2012)

2.5. Conclusões

O conjunto de técnicas que se agregam na disciplina da EN oferecem a possibilidade de resolver questões geotécnicas, enquadrando os seus problemas através de uma abordagem que privilegia os processos naturais e encontrando soluções de reabilitação de encostas e taludes que resultam de escavações e/ou construções. As diferentes técnicas de EN integram-se e complementam-se, sendo capazes de resolver situações simples e complexas, aplicando-se em áreas pequenas ou mais amplas. A EN, contrariando algumas ideias já adquiridas, é mais do que uma hidrossementeira e pode produzir muito mais do que um relvado.

A EN, ao intervir na fixação de solos declivosos e despidos de vegetação, prevenção dos deslizamentos de terras e recuperação de áreas ardidas, fomenta a biodiversidade. O processo evolutivo inerente à EN, que aproveita o potencial das espécies pioneiras, permite que rapidamente o ecossistema instalado atinja estabilidade e resiliência.

A EN é uma disciplina versátil, que usa as energias já disponíveis na natureza, acumuladas nas sementes e nos gomos caulinares e não recorre a outros processos de transformação. As suas técnicas adaptam-se aos lugares onde se aplicam e, através do tempo, evoluíram para soluções cada vez mais eficazes e económicas, por isso mais eficientes, sempre incorporando os processos naturais nos seus princípios. De facto, a EN usufrui da relação simbiótica entre a planta e o solo, tendo em conta que as plantas precisam de terreno para nascer e desenvolver e que o solo beneficia não só com a

presença de raízes e das substâncias químicas que elas emitem, bem como com a degradação da folhada que incrementa o húmus e ainda com parte aérea das plantas que o protegem da erosão.

A aplicação, em larga escala, da EN em Portugal é uma oportunidade que não deve ser desperdiçada, particularmente no tratamento de instabilidades geotécnicas e na reabilitação de “feridas” abertas na paisagem. Para isto contribui a disponibilidade de novos dados sobre as espécies da flora autóctone portuguesa e os bons resultados obtidos em regiões de clima mediterrânico.

Referências bibliográficas

- Benyus, J., 1997, *Biomimicry, Innovation Inspired by Nature*, HarperCollins, New York, p. 320
- Bifulco, C. (Ed.). 2001. *Interventi di ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio*. PNV, San Sebastiano al Vesuvio 2001, p. 201
- Bifulco C., Rego F. 2013. Seleção de espécies lenhosas adequadas às técnicas de engenharia natural. *Silva Lusitana* 2012 Vol. 20 (1/2) p. 15-38.
- Costa, C., Castro, D.L., 1900, *Le Portugal au point de vue agricole*, Imprimerie Nationale, Lisbonne, p. 965
- Florineth, F. 2004. *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. 2007, Il verde editoriale, Milano, p. 280
- Lacava, P., 1914, *La sistemazione idraulica forestale dei monti Somma e Vesuvio dal 1° luglio 1906 al 30 giugno 1913*, Tip. Meridionale G.Turi, Napoli 1914
- Ligato, D., Marasciulo, T., Pascarella, F., Guerra, M., 2002, *Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*, APAT, Roma, p. 132
- Mascarenhas Neto, J.D., 1790. *Methodo para construir as estradas em Portugal, dedicado ao Senhor Dom João Príncipe do Brasil*, 1985, Junta Autónoma de Estradas, Lisboa, p. 97
- Moreira da Silva, I., 1989, ‘Combate à Mimosa, Acácia dealbata Link, no Parque Nacional da Peneda Gerês’, *II Congresso de Áreas Protegidas, Dezembro 1989*, SNPRCN, Lisboa p. 285-296
- Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.). 2006. *Ingegneria naturalistica Manuale studio versanti*, Regione Lazio, Roma. p.866
- Schiechtl H. 1973. *Bioingegneria forestale, basi, materiali da costruzione vivi, metodi*, 1985, Edizioni Castaldi, Feltre, p. 263
- Schlosser, F., Vidal, H., 1969, La terre armée, *Bull. Liasion Labo. Routiers P. et Ch.* (41/1969) p.101-144
- Schlueter, U., 1984, Zur Geschichte der Ingenieurbiologie, *Landshaft und Stadt*, 16(1/2) p. 2-9

4. EVOLUTION OF SHRUB COMMUNITIES IN SOIL BIOENGINEERING PROJECTS ON VESUVIUS²

Abstract

From 1998 to 2005, on Vesuvius, a great number of Soil Bioengineering (SB) projects were implemented to recover landslides and to stabilize slopes. SB uses plants to reinforce, enrich and green eroded and bare soils, promoting ecological succession. To help initial soil stabilization, it is possible to use timber logs or others biodegradable materials. It was verified that in the Vesuvius territory, summer dryness and soil porosity don't allow the success of the SB techniques developed in Austrian Alps. In order to solve this problem, techniques were adjusted, preferring plants instead of woody cuttings.

SB allows building effective consolidating structures and artificial ecosystems with few species. The question is how this kind of project is ecologically effective in a Mediterranean area and if the rebuilt ecosystem can achieve the climax community.

To answer these questions a vegetation investigation was done. An inventory of two SB projects, built in 2002, was made during 2012 and 2013. These two projects are located close to each other, on the East side of Vesuvius Great Cone, at 995 m AMSL, but with different local humidity conditions. A control plot was defined in a nearby project, at 970 m AMSL. This project, built in 2004, is a mechanical stabilization of soil with timber logs, but without any new plants.

Results refer to the worst conditions on Vesuvius' territory. On the volcano top the soil is very recent, porous, and poor, the weather is windy, snowy and harsh in winter, sunny and hot in summer.

In the control plot, where the slope was stabilized only with timber logs, only few sporadic and new herbaceous plants were inventoried. In the two SB projects, installed and new plants have colonized the whole project surfaces. In addition to the used species (2 trees, 5 shrubs and 2 subshrubs) other 36 species of grasses and shrubs were inventoried, together with mosses and mushrooms, naturally coming from the surrounding areas. Trees were present along old temporary runoff lines. SB projects, on Vesuvius, proved their effectiveness not only in consolidating slopes, recovering landslides, and building trails, but also

² Baseado na comunicação oral: Bifulco, C., Giugliano, P., Rego, F., 2014, Evolution of shrub communities in soil bioengineering projects on Vesuvius, *99th ESA Annual Meeting, August 10-15, 2014*, Sacramento, California, EUA. OOS 5-1

in rebuilding ecosystems, even in the difficult Mediterranean conditions. Along temporary surface runoff lines, SB projects are able to reduce and mitigate the hydraulic erosion. They also allow tree growth, even in arid shrublands.

Key-words: Soil bioengineering effectiveness; shrubland evolution; Mediterranean climate.

EVOLUÇÃO DAS COMUNIDADES ARBUSTIVAS NOS PROJETOS DE ENGENHARIA NATURAL DO VESÚVIO

Resumo

De 1998 a 2005, no Vesúvio, foram implementados um grande número de projetos de engenharia natural (EN) com o objetivo de recuperar deslizamentos de terra e estabilizar encostas. A EN utiliza plantas para reforçar, enriquecer e recuperar o coberto verde de solos erodidos e sem vegetação, promovendo a aceleração da sucessão ecológica, sendo possível, na estabilização inicial do solo, o uso de postes de madeira ou de outros materiais biodegradáveis. Verificou-se que, no território Vesúvio, a aridez do verão e a porosidade do solo não permitiram o sucesso das técnicas EN de acordo com o modo de proceder definido na região dos Alpes austríacos. Com o objetivo de ultrapassar este problema as técnicas foram adaptadas ao clima mediterrâneo, preferindo o uso de plantas, em detrimento das estacas vivas.

A EN permite a construção de estruturas de consolidação eficazes com a utilização de poucas espécies. O que se pretendia conhecer com este trabalho era se, estes projetos eram ecologicamente eficazes na região do Mediterrâneo, e se os ecossistemas reconstruídos podiam atingir a comunidade clímax.

Para responder a estas questões, durante o ano de 2012 e 2013, foi efetuado um estudo sobre a vegetação de dois projetos de EN, construídos em 2002. Estes dois projetos localizam-se na proximidade um do outro, do lado nascente do Grande Cone do Vesúvio, a 995 m de altura, mas com diferentes condições de humidade local. Foi definida como parcela de controlo um projeto numa área adjacente, a 970 m de altura. Este projeto, construído em 2004, é apenas uma estabilização mecânica do solo com postes de madeira, sem a introdução de qualquer nova planta.

Os resultados obtidos referem-se a um território do Vesúvio que apresenta as piores condições edafoclimáticas. O solo é muito recente, resultando da

erupção de 1944, poroso e pobre, o clima é adverso, ventoso, com neve e frio por períodos prolongados durante o Inverno e quente e exposto ao sol no verão.

Na parcela de controlo, onde o declive foi estabilizado só com postes de madeira, foram encontradas raras plantas herbáceas novas, distribuídas de forma esporádica. Nos outros dois projetos, as plantas instaladas e as recém-chegadas, colonizaram toda a superfície dos projetos. Além das espécies utilizadas (2 árvores, 5 arbustos e 2 subarbustos) foram inventariadas outras 36 espécies de herbáceas e arbustos, juntamente com musgos e cogumelos, provenientes, naturalmente, das zonas circundantes. Um dos projetos, que intercetava uma linha de escorrência de água temporária, apresentava espécies arbóreas. Os projetos de EN no Vesúvio provaram a sua eficácia, não só na consolidação das encostas, na recuperação de deslizamentos de terra e na construção de trilhos, mas também, na reconstituição do ecossistema, mesmo em condições difíceis como as do clima mediterrâneo. Ao longo das linhas de escorrência de água, os projetos de EN são capazes de reduzir e mitigar a erosão hidráulica; permitindo, ao mesmo tempo, o crescimento de árvores, mesmo nos matos.

Palavras-chave: Eficácia da engenharia natural; evolução dos matos; clima Mediterrâneo.

L'EVOLUZIONE DELLE ASSOCIAZIONI ARBUSTIVE DEI PROGETTI DI INGEGNERIA NATURLISTICA DEL VESUVIO

Riassunto

Un gran numero di progetti di ingegneria naturalistica (IN) sono stati realizzati sul Vesuvio, dal 1998 al 2005, per stabilizzare versanti e sistemare frane. L'IN per rinforzare, arricchire e rinverdire terreni nudi e erosi, usa le piante, con il fine ultimo di sviluppare una successione ecologica. Per aiutare la stabilizzazione iniziale del suolo é possibile usare anche altri materiali, come ad esempio tronchi e picchetti di legno. Sul Vesuvio a causa delle aride estati mediterranee e del suolo vulcanico estremamente poroso, le tecniche di IN sviluppate sulle Alpi austriache, basate sull'uso delle talee, non avevano dato esito positivo. Questo problema era stato risolto adattando i modelli costruttivi austriaci, installando piante, interrate con tutto il loro fusto, al posto delle talee, secondo gli stessi schemi di uso.

L'IN permette di costruire strutture di sostegno e ecosistemi artificiali con poche specie vegetali. La questione che si vuole esaminare é se questo tipo di progetti é anche ecologicamente efficace per ricostituire successioni ecologiche piú ricche di quelle pioniere installate. Per rispondere a questa domanda, nel periodo 2012-2013, é stata analizzata la vegetazione di due progetti di IN realizzati nel 2002 sul Vesuvio. Questi sono localizzati sul lato Est del Gran Cono, a pochi metri di distanza l'uno dall'altro, a 995 mslm di quota, e caratterizzati da differenti condizioni di umidità. Un'area di controllo é stata individuata in un progetto poco distante, a 970 mslm. In quest'area nel 2004 era stata effettuata una stabilizzazione meccanica del terreno, usando solo tronchi e picchetti di legno, senza utilizzare nessuna nuova pianta.

I risultati di questo studio sono relativi ad una zona del Vesuvio caratterizzata dalle peggiori condizioni che si possono incontrare sul vulcano: sul Gran Cono il suolo é di formazione recentissima, l'ultima eruzione é del 1944, poroso e povero di humus, gli inverni sono rigidi, con vento e neve, le estati sono molto calde e l'ambiente aperto é esposto al sole.

Nell'area di controllo si sono inventariate solo poche nuove sporadiche specie erbacee. Nelle altre due aree, le piante installate con la realizzazione del progetto e le nuove arrivate hanno colonizzato completamente la superficie. Oltre alle specie installate (2 specie di alberi, 5 specie di arbusti, 2 specie di erbacee perenni subarbutive), sono state inventariate altre 36 specie di arbusti e piante erbacee, e anche muschi e funghi, apparsi spontaneamente. Lungo le linee di impluvio si sono installate le specie arboree. Sul Vesuvio, nel difficile clima mediterraneo, i progetti di IN hanno provato la loro efficacia non solo per quanto riguarda il consolidamento dei versanti, il recupero delle frane e la costruzione dei percorsi, ma anche per quanto riguarda la ricostruzione degli ecosistemi. I progetti di IN sono efficaci nel ridurre e mitigare l'erosione idraulica e permettono, anche nella macchia arida, l'affermazione iniziale di specie arboree lungo gli impluvi.

Parole-Chiave: Efficacia dell'ingegneria naturalistica; evoluzione della macchia; clima mediterraneo.

3.1. Introduction

The use of Soil Bioengineering (SB) on slopes has two main purposes, (i) to recover or to prevent landslides, using plant roots, (ii) to cover the ground, using the aerial part of the plants to protect it from erosion (Schiechtl, 1973). Since 1998 Soil Bioengineering has been implemented in the Vesuvius National Park to build a network of hiking trails, with these two aims (Bifulco, 2001).

Vesuvius is next to Naples, which is a one million people city, the largest metropolis of Southern Italy, surrounded by other towns where seven hundred thousand habitants live. Vesuvius landscapes are lava and *lapilli* areas with lichens and sparse vegetation, volcanic shrublands, Mediterranean forests, vineyards and farms.

Vesuvius, one of the most famous volcanoes in the world, has around hundred thousand tourists per year. Trails and paths are important to organize and rule this number of visitors, but also to bring the local inhabitants closer to their mountain, promoting them nearness and care. Since 2001 it is possible to climb Vesuvius from each side, and tourist activities can involve the whole territory. Before only one entrance was possible - the access of Herculaneum.

Building 54 kilometers of trails along the mountain sides, in a very porous soil, with rocks and loose pyroclasts, geologically very young, was a problematic task. Recuperating old abandoned paths required landslides recovery and scarps consolidation. The paths main purpose was for walking promenade, but somewhere bus circulation, public transportation, park services vehicles and tank trucks, in case of fires, were also allowed.

Frequently, to get an immediate reinforcement structure of the ground, interlocked timber logs are used with plants. But plant installation is essential to have a SB project.

SB has been in-depth developed and studied in Central Europe (Schiechtl 1973, Schiechtl and Stern 1992) and North America (USDA-NRCS 1992a, 1992b; BCMF, 2001), in different climatic conditions and especially near streams, where the summer dryness doesn't limit plant vegetative reproduction. Several different types of interventions were implemented in Vesuvius National Park (Bifulco 2001). Accumulated knowledge, evaluation and correction of failures, allowed adapting and diversifying the alpine techniques, maintaining their full effect on Vesuvius soils and in Mediterranean climate (Bifulco and Rego 2013). The results carried out in this communication about Vesuvius

National Park SB emblematic projects, permit to evaluate their ecological integration in the surrounding environment and landscape and demonstrate SB effectiveness in Mediterranean climate.

3.2. Monitoring Soil Bioengineering

First large monitoring report on SB projects was by Schiechl (1973). His research was on projects finished between two and fourteen years before. He demonstrated that, in alpine climate, SB projects were able to attract new plants from surroundings. Shultz (1995) studied the evolution of Schiechl projects in Austria; he describes a detailed framework based on a twenty-five year period of observations. He concluded that (i) in the first three years was possible to verify a decrease of number of species installed in the soil bioengineering projects, due to natural selection between the used species, herbaceous and woody, (ii) between the third and tenth year was observed the arrival of new species, naturally spread; (iii) after this term further evolutions of vegetation are driven by microclimatic conditions.

In Italy a first inventory of SB projects was made in Vesuvius National Park (Bifulco, 2001), on projects realized between 1998 and 2000. That inventory was mainly focused on the different modalities that were used and on functionality tests. Project costs and its maintenance were another focus of this report. Subsequently, by Lazio Region and Italian Ministry of Environment initiative, several books, dedicated to SB techniques dissemination, were published (Sauli *et al.*, 2002, 2003, 2006; Cornolini and Sauli 2012). There monitoring was mainly intended as a recording data and a project efficiency control. These publications mainly aim to establish a *thesaurus* of best practices, by a repository of recognizable and reproducible examples and results.

A systematic analysis of projects made in the Lazio region was published in 2007 (Preti and Milanese), including information on projects efficiency and used plant species. Recently, monitoring results on vegetation evolution and soil aggregation of two projects, made 25 years earlier, in Central Switzerland, were presented (Burri *et al.*, 2009).

After his intense spread, SB has become a university discipline. Standard methods are available to measure biotechnological characteristics of plants (Florineth, 2004; Sutili, 2007). In addition to the data on plants biotechnological

characteristics of central Europe (Schiechtl, 1973), now it's also possible to find data for further species of central and southern Europe (Florineth, 2004; Cornellini and Sauli 2005, Bifulco and Rego 2013).

3.3. SB projects' description

Among dozen SB implementations made in the whole Vesuvius National Park, two projects were chosen to analyze the vegetation succession. Both were built on the Great Cone, on recent slopes of *lapilli* and loose pyroclasts, created by last eruption in 1944, in higher altitude and implemented in the hardest conditions. These projects are on a path climbing border, in a tourist area at 1000 m AMSL, in the municipality of *Trecase*. Since 2009 the tourist shuttle circulates every day, hourly, to the volcano top (www.busviadelvesuvio.com). These shuttles are off-road buses; their vibration has an impact on the path structure.

The two projects were implemented in 2002, at 995 m AMSL. They are two live crib walls that is a hollow, structural wall formed out of mutually perpendicular and interlocked logs of timber, in which live cuttings or plants are inserted into the crib fill, through the front face of the wall. As control plot, which allows comparing the vegetation evolution was used a particular area near to both projects, just a little lower, at 970 m AMSL, always on the upstream side of the same path. In this area, a slope of *lapilli*, was mechanically stabilized with timber logs, in 2004, with the aim to install a plot that could be used as a test for other SB projects. The structure built in the control plot area is a superficial stabilization made with "fences": wooden logs were fixed to the slope ground by wooden stakes along horizontal parallel lines distant from each other two meters. There, intentionally, no vegetable element was installed, to observe the outcome of a single mechanical stabilization of the soil, on the spontaneous colonization of the site. Indeed, already in 2004, was an intention to explore the hypothesis of using only mechanical stabilization on sliding surface. It was expected to finally understand if that single technique could be sufficient, to allow natural colonization.

In the Great Cone area, where the projects are located, have occurred rains for 954.08 mm/m² in 2002 and 703.04 mm/m² in 2003. In July 2003 dominant winds had east-southeast direction with 6.5 to 9.0 m/s speed. The soil of the three areas is sand with silty gravel, of volcanic origin, with a relative

permeability from medium to low. The pH ranges from neutral to sub-acid. First layer constituting the subsoil is characterized by a low average degree of density, corresponding to an angle of friction next to 30° (Menegazzi *et al.*, 2008).

The landscape is characterized by rocky habitats, with biological communities associated with the seasonality, presence of herbivorous animals, and migratory birds, pioneer plant species resistant to drought and able to live on poor soils. In general, the vegetation is widely-spaced, with cover values between 10% and 25%. The plants' community is characterized by the presence of: *Rumex scutatus* L., *Centranthus ruber* (L.) DC., *Artemisia campestris* ssp. *variabilis* (Lt) Greuter, *Scrophularia canina* ssp. *bicolor* (Sm.) Greuter, *Rumex acetosella* L. These species are widespread and mark the characteristic landscape of the slopes of the Great Cone. Less common but characteristic of the local plants' associations are *Aira caryophyllea* L., *Briza maxima* L., *Bromus tectorum* L., *Chondrilla juncea* L., *Daucus carota* L., *Glaucium flavum* Crantz, *Helycrisum litoreum* Guss., *Linaria purpurea* (L.) Mill., *Picris hieracioides* L., *Silene vulgaris* (Moench) Garcke, *Virgaurea solidago* L., *Trifolium arvense* L. There are also phenomena of spontaneous evolution with the associations of herbaceous species colonized by shrubs such as: *Cytisus scoparius* (L.) Link, *Genista aetnensis* (Biv.) DC., *Spartium junceum* L. In the '50s some areas after the eruption of 1944 were object of reforestation with *G. aetnensis* (Biv.) DC., *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Aiton, *Robinia pseudacacia* L. (Carpino and Sammiceli, 2009).

The first live crib wall was built to reclaim a gully erosion, shaped as a V, 2 m wide and 2 m deep, and to reconstruct the scarp below the path. Its dimensions are: 2 m height, 1.5 m width, and 12 m length. In the inventory also the drainage area below the wall was analyzed, where stones interlocked with logs were installed. The upper part of the construction coincides with road edge and surface. It's exposed to East.

The second one located thirty meters distant from the first, on the slope upstream of the path and with drier humidity conditions, was built to reinforce the foot of the slope upstream, in order to avoid invasion of the path by the sliding down *lapilli*. Its size is: 1.2 m height, 1.5 m width, and 20 m length. Also in this case the area immediately below the wall, on the path surface, was analyzed. It has an East exposition.

The two wooden structures were filled with ground and plants and cuttings, which were placed with a spacing of 20 cm by 35 cm. Herbaceous weren't seeded. The used species are the ones displayed in Tab.3-1.

Tab. 4-1 Plants and cutting used in the live crib walls

From nursery	Potted plants	<i>Spartium junceum</i> L.			
From nearby areas	Bare-root plants	<i>Colutea arborescens</i> L.	<i>Coronilla emerus</i> L.	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link
	Cuttings	<i>Populus nigra</i> L.	<i>Populus tremula</i> L.		
	Plants with root ball	<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC.	<i>Rumex scutatus</i> L.		

The control plot is on the side upstream of the same path. It was a superficial stabilization made with “fences”: wooden logs fixed to the slope along horizontal parallel lines, distant from each other two meters, to retain loose layers of topsoil. Those logs are fastened to wooden stakes driven into the ground for 50 cm. Five fences were installed on a 30° slope above the path. This area has a surface of 8,5 m high and 7 m wide. There were only two small *Pinus pinaster*, height less than 1,5 m and three specimens of *Cytisus scoparius* and one of *Spartium junceum* nearby its boundary of that area. This soil is exposed to East.

3.4. Methods

The goal of this study is the analysis of the plants community evolution, in the two mentioned SB projects implemented. In 2004 and 2007, two works, concerning SB monitoring activities, have already been made (Giugliano and Menegazzi, 2008; Menegazzi *et al.*, 2008). Those studies were mainly focused on geotechnical functionality of roots and wood structures. Indeed the previous monitoring actions made in Vesuvius National Park aimed different targets.

The 2004 monitoring study was focused on the plants installation efficiency, related to ground consolidation and to soil components evolution. In that occasion, a little number of plants was extracted from the ground, in three SB projects, to measure roots' shape and length. Two of these three monitored projects were the two live crib walls, concerning the present study. The costs in terms of time equipment and human resources for plants' extraction, and in terms of projects' restoration, were high, so it was necessary to establish a limit to excavated specimens number. Even if not systematic and made on ten plants and seven cuttings, the check study gave interesting, but not conclusive, results on the ground volume penetrated by the roots of still living plants (Menegazzi *et*

al., 2008). The short period, less than two years, from the projects implementations, gave positive trend indications but not significant information about the soil component evolution (De Marco *et al.* 2004; Gentile 2006).

In 2008, the Vesuvius National Park carried out a second larger monitoring campaign (Giugliano and Menegazzi, 2008) on nine SB projects mainly focused to verify the functionality of the wooden logs used in the SB projects, their mechanical resistance and presence of mushrooms or other woody pathologies. Vegetation analyses of the two live crib walls, mentioned before, are available from these two monitoring activities: 2004 data for the first, 2008 data for the second one. About the control plot no analysis were already carried out.

The current study inventory was done on the total surface of the three projects. Data were collected between July 2012 and June 2013 cataloging all present plants in summer, fall, and spring. Plants' abundance was classified using the following scale (Tab. 3-2) of Braun-Blanquet, as amended by Westhoff & Van Deer Maarel, already used in 2008 (Giugliano and Menegazzi, 2008).

Tab. 4-2 Abundances indices for cover percentage ranges

Value	Cover percentage range
r	Rare
+	<1%
1	1% - <5%
2m	5% (very abundant)
2a	>5% - <12%
2b	12% - <25%
3	25% - <50%
4	50% - <75%
5	75% - 100%

3.5. Results and conclusions

In table 3-3 are shortly described the three projects' vegetal covers.

Tab. 4-3 Vegetal covers for the three projects

	First live crib wall	Second live crib wall	Fences
Total vegetation cover	100%	95%	10%
Bare ground	-	5%	90%
Litterfall	50%	20%	10%
Tree vegetation cover	10%	10%	5%
Shrub vegetation cover	90%	50%	3%
Grass vegetation cover	60%	80%	2%
Moss cover	40%	<1%	<1%

And in the next table 3-4 are resumed their inventories.

The vegetation dynamics succession on SB projects, modeled by Shultz (1995), in the Alpine environment is also valid for the two projects examined in a Mediterranean region. In the first years a fast decrease of specimens and

species installed was verified due to natural selection, but after was possible to observe the arrival of new species, naturally spread.

Tab. 4-4 Species inventories for the three projects

First live crib wall (to reconstruct the scarp below the path)		Species abundance		
		2002	2004	2013
introduced (SB project)	<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC.	2a	2a	2b
	<i>Spartium junceum</i> L.	2a	2a	1
	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	2a	2a	1
	<i>Populus nigra</i> L.	2a	1	1
	<i>Colutea arborescens</i> L.	2a	1	r
	<i>Coronilla emerul</i> L.	2a	1	r
	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	2a	1	r
	<i>Rumex scutatus</i> L.	2a	1	r
	<i>Populus tremula</i> L.	2a	-	-
	<i>Artemisia campestris</i> ssp. <i>variabilis</i> (Lt) Greuter			1
naturally coming	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link			1
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.			1
	<i>Poa bulbosa</i> L.			1
	<i>Arabis collina</i> Ten.			+
	<i>Ayra caryophyllea</i> L.			+
	<i>Bromus tectorum</i> L.			+
	<i>Ceterach officinarum</i> Willd.			+
	<i>Cynosurus echinatus</i> L.			+
	<i>Dactylis glomerata</i> L.			+
	<i>Daucus carota</i> L.			+
	<i>Helichrysum litoreum</i> Guss.			+
	<i>Lactuca serriola</i> L.			+
	<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill			+
	<i>Brachypodium retusum</i> (Pers.) P. Beauv.			r
	<i>Briza maxima</i> L.			r
	<i>Cerastium brachypetalum</i> Desp. ex Pers.			r
	<i>Chondrilla juncea</i> L.			r
	<i>Euforbia peplus</i> L.			r
	<i>Fraxinus ornus</i> L.			r
	<i>Galium aparine</i> L.			r
	<i>Geranium purpureum</i> Vill.			r
	<i>Lathyrus setifolius</i> L.			r
	<i>Medicago falcata</i> L.			r
	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill			r
	<i>Picris hieracioides</i> L.			r
	<i>Scrophularia canina</i> L. subsp. <i>bicolor</i> (Sm.) Greuter			r
	<i>Senecio vulgaris</i> L.			r
	<i>Taeniatherum caput-medusae</i> (L.) Nevski			r
	<i>Trifolium campestre</i> Schreb.			r

Second live crib wall (on the slope upstream of the path)		Species abundance		
		2002	2008	2013
introduced (SB project)	<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC.	2a	1	2m
	<i>Spartium junceum</i> L.	2a	r	1
	<i>Populus nigra</i> L.	2a	+	r
	<i>Rumex scutatus</i> L.	2a	r	r
	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	2a	-	r
	<i>Colutea arborescens</i> L.	2a	-	-
	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	2a	-	-
	<i>Coronilla emerul</i> L.	2a	-	-
	<i>Populus tremula</i> L.	2a	-	-
	<i>Bromus tectorum</i> L.			2a
naturally coming	<i>Artemisia campestris</i> ssp. <i>variabilis</i> (Lt) Greuter			1
	<i>Centaurea</i> sp.		1	1
	<i>Cynosurus echinatus</i> L.		+	1
	<i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Coss.		1	1
	<i>Poa</i> sp.		2a	
	<i>Poa bulbosa</i> L.			1
	<i>Trifolium</i> sp.		1	1
	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link			+
	<i>Ayra caryophyllea</i> L.		+	+
	<i>Chondrilla juncea</i> L.			+
	<i>Geranium purpureum</i> Vill.		+	+
	<i>Picris hieracioides</i> L.			+
	<i>Senecio vulgaris</i> L.			+
	<i>Trifolium stellatum</i> L.		+	+
	<i>Briza maxima</i> L.		2a	r
	<i>Helichrysum litoreum</i> Guss.			r
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.		r	r
	<i>Scrophularia canina</i> L. subsp. <i>bicolor</i> (Sm.) Greuter			r
	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke			r
	<i>Tragopogon pratensis</i> L.			r

Reference's (fences on the slope upstream of the path)		project		
		Sp. Abund.		
		2004		2013
existing	<i>Pinus pinaster</i> Aiton	+		1
	<i>Spartium junceum</i> L.	r		+
	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	r		+
naturally coming	<i>Centranthus ruber</i> (L.) DC.			+
	<i>Ayra caryophyllea</i> L.			r
	<i>Bromus tectorum</i> L.			r
	<i>Genista aethensis</i> (Biv.) DC			r
	<i>Hypochaeris radicata</i> L.			r
	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill			r
	<i>Petrorhagia dubia</i> (Raf.) G.López & Romo			r
	<i>Rumex scutatus</i> L.			r

The installed plants still living are high more than 1 m, and 2004 root evaluation gave for smaller plants a minimum of 1 m³ of soil penetrated by roots. The microclimatic conditions drive the vegetation evolution. Indeed, the project located along temporary runoff lines is more luxuriant and the second one, with less humidity, almost the whole area is cover with species adapted to water scarcity.

Ten years after this SB projects implementation, thirty one new species were detected in the first live crib wall, and twenty two in other one with a drier situation. Some of the new species, found in the first live crib wall, demands better edaphic conditions than the ones present in the nearby soil, which seems

to mean that SB projects improves soil characteristics retaining and taking advantage of runoff waters.

Comparing the inventory made for this study to the total list of species inventoried in 2008 on nine SB projects, 19 new species were detected; on the other and, more than 50% specimens of installed plants were dead but, despite the visible deterioration of wooden logs, the aboveground and underground growth of the remaining ones and of newcomers ensures the efficiency of the projects, stressed by the off-road buses hourly passing.

Concerning the control plot, where as previously described existed already a small number of trees and shrubs, the bare area continues to be the 90%. The two present *Pinus pinaster* grew up 3 m high, but didn't produce a substantial surface consolidation. Whole ground surface remains unstable, as was possible to observe passing through it, even under tree's foliage. It was possible to observe that shrubs, already present in 2004, were reproducing only close to themselves. Even if species have increased from 3 to 11 as showed in Tab.3-4, the specimens are rare and scattered; sporadic herbaceous seedlings continue to be uprooted or torn by the slightest movement of the loose soil, so , until now, they colonize the surface sporadically (Carpino and Sammiceli, 2009). All these perceived facts leave to the conclusion that a mechanical stabilization of slopes, with timber logs but without plants, in that environment is not enough to guaranty an efficient surface stabilization and consolidation.

Using only mechanical stabilization wasn't useful to the area plant colonization, which remained slow, and characterized by the diffusion of *Centranthus ruber*, like the surrounding Cone area. On the contrary, SB projects allowed a significant acceleration of plant colonization and the development of the vegetation succession.

Implementing SB projects on temporary streams, to recover or prevent erosion and landslides, is also an occasion to retain runoff waters and take advantage of them, to install in dry areas nucleus of plant species demanding water.

Acknowledgments

We acknowledge Ugo Leone and Rino Esposito (VNP) for supporting the update and the development of this research, Giovanni Romano (VNP) for giving his assistance, Filippo Rizzo (Messaggeri per la conoscenza-UPalermo) for helping with identification of *Petrorhagia dubia* (Raf.) G.López & Romo, and

José Carlos Augusta da Costa (ISA-ULisboa) for helping with identification of all other species.

Bibliography

- Bifulco, C. (Ed.). 2001. *Interventi di ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio*. PNV, San Sebastiano al Vesuvio 2001, p. 201
- Bifulco, C., Rego, F., 2013. Seleção de espécies lenhosas adequadas às técnicas de engenharia natural *Silva Lusitana* 2012 Vol. 20 (1/2) p.15-38.
- British Columbia Ministry of Forests. 2001. *Best management practices handbook: Hillslope restoration in British Columbia*.
<http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/Mr/Mr096.htm> (consulted 04/10/2012)
- Burri, K., Graf, F., Böll, A., 2009. Revegetation measures improve soil aggregate stability: a case study of a landslide area in Central Switzerland. *Forest Snow and Landscape Research* (2009) 82, 1, p. 45–60.
- Carpino, F., Sammiceli, F., (Eds.), 2009. *Laboratorio per il monitoraggio della biodiversità e cartografia del Parco Nazionale del Vesuvio*. Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, p. 216
- Cornellini, P., Sauli, G. (Eds.), 2005. *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Direzione Generale per la Difesa del Suolo – PODIS, Roma, p. 389
- Cornellini, P., Sauli, G. (Eds.). 2012. *Principi, Metodi e Deontologia dell'Ingegneria Naturalistica*. Regione Lazio, Roma, p. 199
- De Marco, A., Gentile, A., Vittozzi, P., Esposito, F., Virzo De Santo, A., Bifulco, C., 2004. 'Biomassa microbica e fungina e diversità funzionale di suoli interessati da interventi di ingegneria naturalistica'. In *Conservazione e gestione degli ecosistemi, programma e riassunti del XIV Congresso SitE*. Società Italiana di Ecologia, Parma, p.68
- Florineth, F., 2004. *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. Ed. 2007, Il verde editoriale, Milano, p. 280
- Gentile, A., 2006. *Biodiversità della microflora edafica in funzione della copertura vegetale in ambiente mediterraneo mediante tecniche funzionali e molecolari*. Ph.D. thesis, 138 p.
<http://www.fedoa.unina.it/603/>; 10/07/2013 (consulted 04/10/2012)
- Giugliano P., Menegazzi G. (Eds.), 2008. *PIT VESEVO - S26 REPORT - osservazioni delle opere di ingegneria naturalistica*. Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio.
- Menegazzi, G., Aillaud, G., Bifulco, C., 2008. 'Monitoraggio dello Sviluppo di apparati radicali di arbusti mediterranei inseriti in opere di ingegneria naturalistica nella parte sommitale del Vesuvio', In Cornellini P. Federico C., Pirrera G. (Eds.) *Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica*. Sicilia Foreste. Palermo, p. 293-303.
- Preti, F., Milanese, C. (Eds.), 2006. *Monitoraggio dei cantieri pilota di ingegneria naturalistica nel Lazio*. Quaderni della Regione Lazio, Roma. p. 65
- Sauli, G., Cornellini, P., 2007. *The application of native species of shrubs rooted and as cuttings in SB intervention in the Mediterranean areas in Italy*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 07869, 2007. p. 2
- Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.), 2002. *Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico*. Regione Lazio, Roma, p. 421.
- Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.) 2003. *Manuale di ingegneria naturalistica applicabile ai settori delle strade, cave, discariche e coste sabbiose*. Regione Lazio, Roma, p. 591.
- Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.) 2006. *Manuale di ingegneria naturalistica applicabile ai versanti*. Regione Lazio, Roma, p. 866.
- Schiechtl, H., 1973. *Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi - metodi*. 1985, Edizioni Castaldi, Feltre, 263 p.

Schiechtl, H., Stern, R. 1992. *Ingegneria naturalistica, manuale delle opere in terra*. Edizioni Castaldi, Feltre, 163 p.

Schutz, W., 1995. *Il consolidamento delle scarpate lungo l'autostrada del Brennero con interventi di ingegneria naturalistica a distanza di 25 anni*. In Sauli, G., Siben, S., (Eds.) *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica, Esperienze europee, atti del congresso internazionale di Lignano Sabbiadoro 1992*. Patron Editore, Bologna, p. 215-225.

Sutili, F. 2007. *Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do Sul do Brasil*. Ph.D. thesis, p. 94
http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/_/H87/H874/bilder/buecher/SUTILI_TESE.pdf

USDA-NRCS. 1992a. Engineering Field Handbook. Chapter 18 SB for Upland Slope Protection and Erosion Reduction. p.53
<http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17555.wba> (consulted 04/10/2012)

USDA-NRCS. 1992b. Engineering Field Handbook. Chapter 16 Streambank and Shoreline Protection. p. 42
<http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17553.wba> (consulted 04/10/2012)

Westhoff, V., Van der Maarel, E. 1978. 'The Braun-Blanquet approach', In WHITTAKER, R.H. (Ed.) *Classification of Plant Communities*. Junk. The Hague. p. 287-297.

5. SELEÇÃO DE ESPÉCIES LENHOSAS ADEQUADAS ÀS TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL³

Sumário. A engenharia natural, desenvolvida na Europa central depois da segunda guerra mundial e na Europa mediterrânica nos últimos vinte anos, tem-se recentemente desenvolvido em Portugal com grandes potencialidades de expansão.

Para a estabilização e a consolidação das encostas a engenharia natural utiliza árvores e arbustos autóctones com boa capacidade de propagação vegetativa. Uma das características essenciais destas espécies, quer se empreguem como estacas ou plantas inteiras, é a possibilidade de enterrar o seu caule, em cerca de um metro, sem que este facto comprometa a sua viabilidade.

Neste artigo seleciona-se uma lista de espécies da flora continental portuguesa com base no conhecimento prático adquirido e nas publicações técnico-científicas de Portugal, da Europa central e centro-meridional.

São posteriormente definidos grupos de espécies da flora portuguesa que podem ser consideradas como (i) adequadas para aplicação em obras de engenharia natural em Portugal, e (ii) provavelmente adequadas, carecendo de um maior conhecimento através da realização de trabalhos de investigação. Sobre estas últimas prevê-se continuar o seu estudo através de um programa de ensaios para avaliação das suas características biotécnicas.

Palavras-chave: Propagação vegetativa; estacas; enraizamento; raízes adventícias; flora continental portuguesa

SELECTION OF SUITABLE WOODY SPECIES FOR SOIL BIOENGINEERING

Abstract. Soil bioengineering was developed in central Europe after World War II and in Mediterranean Europe in the last twenty years; soil bioengineering has been recently applied also in Portugal suggesting its potential future development.

Soil bioengineering, to consolidate and stabilize sliding down slopes, uses indigenous trees and shrubs with good vegetative propagation. A key feature of these species, employed as cuttings or as whole plants, is to not get damaged

³ Baseado no artigo: Bifulco C., Rego F. 2013. Seleção de espécies lenhosas adequadas às técnicas de engenharia natural. *Silva Lusitana* 2012 Vol. 20 (1/2), p.5-38

when their stems are buried in the ground about one meter.

In this article is selected, from Mainland Portugal flora, a list of plant species, starting from scientific literature of Portugal, Central Europe and Central and Southern Europe, and using practical knowledge developed in Southern Italy.

Afterwards groups of species are defined as *(i)* appropriate for soil bioengineering works to do in Portugal, and *(ii)* probably adequate, requiring further researches to improve the knowledge about their feature. Tests are planned to assess the biotechnical features of this second group.

Key words: Vegetative propagation; cuttings; rooting; adventitious roots; flora of Mainland Portugal.

SCELTA DELLE SPECIE LEGNOSE IDONEE PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA

Riassunto. L'ingegneria naturalistica, sviluppata in Europa centrale dopo la seconda guerra mondiale, e nell'Europa mediterranea nel corso degli ultimi venti anni, si è sviluppata recentemente anche in Portogallo, presentando per il futuro ampie possibilità di applicazioni.

L'ingegneria naturalistica utilizza alberi e arbusti autoctoni, con buone capacità di propagazione vegetativa, per la stabilizzazione e il consolidamento dei pendii. Una caratteristica essenziale di queste specie, impiegate sia come talee sia come piante intere, è la possibilità di interrare i loro fusti, per lunghezze fino ad un metro, senza che ciò le possa danneggiare.

In questo articolo è selezionato un elenco di specie della flora del Portogallo continentale suscettibili di essere usate in progetti di IN, in base alla revisione della bibliografia tecnica e scientifica relativa a Portogallo, Europa centrale e Europa centro-meridionale, e in base alle conoscenze apprese sul campo.

Le specie selezionate sono poi state classificate in: *(i)* specie idonee per i progetti di ingegneria naturalistica in Portogallo e *(ii)* specie probabilmente idonee, per le quali è necessario effettuare ulteriori ricerche sulle loro caratteristiche. Su queste ultime si prevede di proseguire lo studio con un programma di prove sperimentali.

Parole chiave: Propagazione vegetativa; talee; radicamento ; radici avventizie; flora del Portogallo continentale.

4.1. Introdução

A engenharia natural (EN) foi desenvolvida na Europa central depois da segunda guerra mundial e na Europa mediterrânica nos últimos vinte anos. É uma importante técnica que permite compensar os desequilíbrios induzidos nos ecossistemas por processos artificiais ou mesmo naturais.

A EN na Europa tem o seu papel bem identificado desde a sua aplicação pelo Eng.º Hugo Meinhard Schiechtl, nos Alpes Orientais Austríacos, a partir da segunda metade do século passado. A área alpina e a Europa central foram as regiões onde, durante muitos anos, se experimentou a EN, se acompanhou a execução das suas obras e se fez a monitorização *post-opera*, de forma mais alargada (Schiechtl, 1973). O conhecimento acumulado sobre as técnicas da EN e dos seus materiais construtivos - vivos, que são o seu elemento distintivo, ficou limitado a esta área geográfica e ao seu clima específico até a última década do século passado.

A partir de 1998 a EN teve uma larga difusão na Europa meridional, nomeadamente na Itália central e meridional, baseando-se no conhecimento até aí adquirido e em alguns dos pressupostos que dele advinham (Cornelini e Sauli, 2005). No entanto muitos aspetos decorrentes da adaptação das técnicas de EN a esta área geográfica conduziram a novas, interessantes e originais experiências.

A EN é reconhecida como uma técnica de diminuto impacte ambiental, sendo considerada uma ferramenta de recuperação da degradação ambiental, possibilitando que os desequilíbrios induzidos aos ecossistemas possam ser compensados. No entanto, para se garantir um menor impacto será necessário eliminar, dos projetos de EN e das suas obras, os materiais sintéticos, substituindo-os por biodegradáveis. Simultaneamente, e na procura do mesmo objetivo, é decisiva a integração ecológica das obras de EN no ambiente envolvente. A seleção das espécies deve estar de acordo com a fitocenose do lugar e com as séries possíveis de sucessões ecológicas (Schiechtl, 1973; Sauli e Cornelini, 2002).

As experiências de EN têm sido realizadas sobretudo em zonas ribeirinhas ou em áreas alpinas, locais onde não há períodos de seca prolongados e, conseqüentemente, o stress hídrico não é uma limitação à utilização de

estacas vivas, sendo estas o principal material de construção das obras de EN na estabilização e consolidação das encostas.

As experiências em clima mediterrânico - Itália Meridional, em encostas áridas ou afastadas dos rios, têm demonstrado que o uso de estacas não é viável, propondo em seu lugar, como material alternativo de uso mais abrangente, plantas lenhosas com o caule enterrado.

A aplicação da EN nas encostas secas de Portugal pode beneficiar dos resultados obtidos nas experiências desenvolvidas noutros países de clima mediterrânico; no entanto, as plantas aí utilizadas com sucesso não pertencem à flora portuguesa, sendo por isso necessário encontrar as que melhor se adequam a Portugal.

O objetivo deste trabalho é a definição de um conjunto de plantas lenhosas da flora portuguesa que se qualificam como (i) adequadas para aplicação em obras de EN e (ii) presumivelmente adequadas, carecendo de um maior conhecimento através da realização de trabalhos de investigação.

4.2. Métodos

Para a definição do conjunto de plantas lenhosas da flora portuguesa adequadas às técnicas de EN serão seguidos os três passos metodológicos propostos pelo "*brainstorming*" (Bezzi e Baldini, 2006):

- identificação do problema, definição dos requisitos das espécies a utilizar nas técnicas de EN em Portugal;
- fase divergente, determinação de pressupostos que aparentemente contêm soluções com resultados positivos: seleção das espécies *candidatas*;
- fase convergente, avaliação dos pressupostos com base em critérios técnico-científicos que levem à escolha das soluções mais adequadas ao problema: avaliação e diferenciação das espécies *candidatas*.

Depois de ter identificado o problema, definindo os requisitos das espécies lenhosas a utilizar na consolidação e estabilização de taludes, através da consulta da bibliografia disponível para a Europa e Portugal continental, determina-se um grupo de espécies *candidatas*, potencialmente adequadas para aplicação em obras de EN, ou seja, as referidas na bibliografia como evidenciando uma boa capacidade de reprodução vegetativa. Fechar-se-á esta

fase divergente incluindo, no grupo das *candidatas*, outras espécies, resultantes do conhecimento decorrente da experiência profissional no parque nacional do Vesúvio (Bifulco, 2001) e de outras experiências em Portugal continental (Costa, com. pess.). Seguidamente, na fase convergente, serão definidos os critérios de base sob os quais as espécies *candidatas* serão avaliadas. Proceder-se-á à subdivisão das espécies em classes, designadamente em (i) espécies que podem ser consideradas desde já adequadas para aplicação em obras de EN em Portugal e (ii) espécies presumivelmente adequadas, carecendo no entanto de subsequente trabalho de investigação.

4.2.1. Identificação do problema: caracterização do material vivo a aplicar em obras de engenharia natural na estabilização e consolidação de encostas

4.2.1.1. A escolha do material vivo: sementes, plantas, estacas

Nas obras de EN são usados diversos materiais com diferentes características (Schiechtl, 1973; Sauli e Cornellini, 2002) que podem ser:

- Materiais construtivos vivos: plantas, estacas, sementes.
- Materiais mortos: pedras, postes de madeira, pregos, têxteis de fibra vegetal.
- Outros materiais orgânicos, como o estrume, ou sintéticos, como as geogrelhas de plástico.

Na fase de projeto a análise das propriedades técnicas dos materiais é um dos seus principais elementos orientadores.

A EN define "estaca" como um elemento vivo, parte do caule de uma planta que, cortada e enterrada parcialmente no solo, seja capaz de emitir raízes e posteriormente folhas (Figura 4-1) e "planta" como um elemento inteiro, completo nas suas partes, com raízes, caules e folhas.

Nas obras de estabilização e consolidação do solo os materiais mais utilizados são as estacas e as plantas. Este tipo de obras pode ser acompanhado com ações de proteção contra a erosão (Schiechtl, 1973; Sauli e Cornellini, 2002) através da realização de vários tipos de sementeira.

Embora fora do âmbito deste trabalho de investigação refere-se que as sementes de espécies herbáceas, das famílias de leguminosas e gramíneas,

são utilizadas principalmente nas obras de revestimento vegetativo e proteção contra a erosão superficial. As sementes de espécies arbustivas são aplicadas com menor frequência, recorrendo-se a estas quando há reconhecida facilidade de germinação. O uso de sementes de difícil germinação que necessitam de tratamentos específicos é raro e restringido a casos para os quais não se encontrem alternativas.



Fig. 5-1 Estacas de *Atriplex halimus*, *Vitex agnus-castus*, *Nerium oleander* e *Tamarix gallica* (Cornelini)

Não se exclui da realização de obras de EN, plantações e sementeiras realizadas segundo as tradicionais práticas silvícolas, com recurso a plantas lenhosas, provenientes de viveiro, e/ou sementes de plantas lenhosas, contudo a aplicação deste tipo de técnicas, nas práticas de EN, é muito escasso (Schiechtl, 1973; Cornelini e Sauli, 2005).

As estacas de plantas lenhosas e as sementes de herbáceas são os principais materiais vivos em uso nas obras de EN. Nos Alpes, as estacas mais utilizadas são varas de cerca de 1 m de comprimento que podem ter até 8 cm de diâmetro. As experiências mencionadas por Schiechtl (1973, 1992), com estacas de salgueiro colocadas diretamente no terreno, sem aditivos ou fertilizantes, revelam que a capacidade de enraizamento de uma estaca aumenta com a sua idade (usualmente utilizam-se caules de 2 ou 3 anos), o diâmetro e o número de nós com gemas. Esta conclusão tem sido basilar na escolha das dimensões das estacas para os trabalhos de EN.

Schiechtl (1973, 1992) e Schiechtl e Stern (1992) forneceram resultados devidamente referenciados, provenientes de mais de 25 anos de experiências, relativos às espécies usadas na Europa central, proporcionando dados sobre as percentagens de enraizamento, o volume radicular e o volume da folhagem.

Experimentou ainda (Schiechtl, 1973) uma modalidade de diferente posicionamento das estacas no terreno, pouco comum naquela época. Trata-se do enterramento da estaca inclinada 10° relativamente ao plano horizontal, conseqüentemente, pouco profunda. Com este posicionamento Schiechtl conseguiu o enraizamento das estacas ao longo do todo o seu caule, usufruindo das gemas caulinares e não apenas das referentes ao corte basal, promovendo um volume de raízes emitidas muito superior ao de uma plantação vertical. Posteriormente esta metodologia foi adotada em todas as obras de EN, sendo um dos seus aspetos caracterizadores (Figuras 4-2 e 4-3).

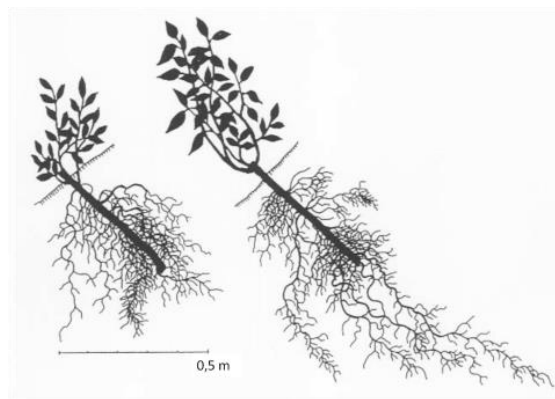


Fig. 5-2 Estacas de Salix myrsinifolia dois anos após implante (adaptado de Schiechtl, 1973)

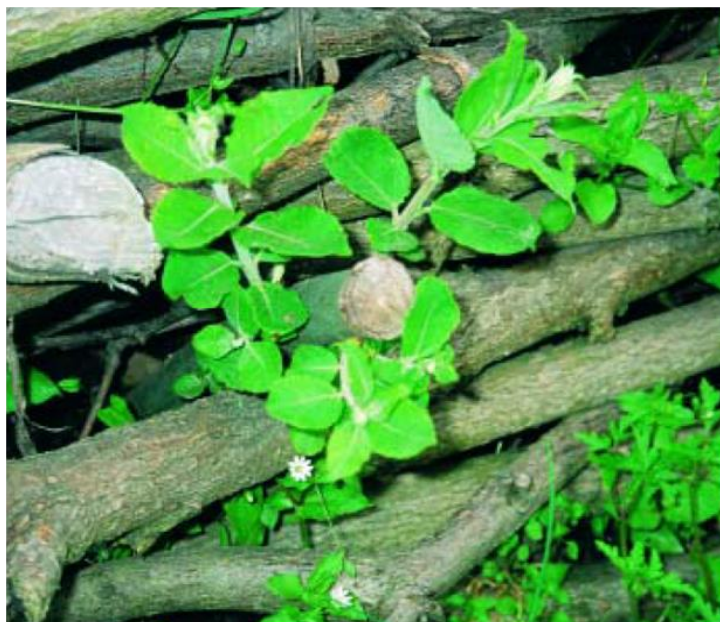


Fig. 5-3 Estaca de Salix caprea três meses após implante (parque nacional do Vesúvio)

Schiechtl (1973) define diversos esquemas de trabalho para as obras de EN: a quase totalidade destes esquemas de trabalho usa, como material de construção vivo, sementes, sobretudo de herbáceas, e/ou estacas de várias

dimensões. O único caso para o qual as plantas são explicitamente indicadas como único material de construção vivo, é a técnica chamada "faixas de vegetação com plantas" (nome em alemão: *Heckenlangenbau nach Schiechtl*; nome em italiano: *Sistemazione com messa a dimora di siepe sec. Schiechtl*). Este esquema é uma alteração à técnica "faixa de vegetação com estacas", considerada mais relevante por Schiechtl (1973). Na execução da última técnica referida a plantação não se faz de forma tradicional, verticalmente, mas, em analogia com o esquema que Schiechtl tinha já usado com as estacas (Figuras 4-4 e 4-5), enterradas em 2/3 do seu comprimento total e com o caule disposto sobre de um plano de escavação sub-horizontal (na prática acima de 10° em relação ao plano horizontal).

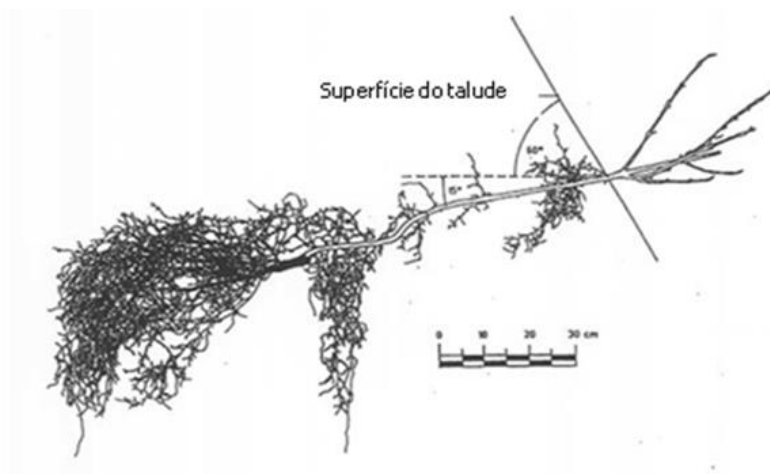


Fig. 5-4 Raízes adventícias ao longo do caule numa planta enterrada (adaptado de Florineth, 2004)



Fig. 5-5 Raízes adventícias ao longo do caule *Colutea arborescens* 15 meses após enterramento (parque nacional do Vesúvio)

Para executar este tipo de esquema, as plantas a utilizar têm de suportar o enterramento do caule e ter a capacidade de emitir raízes adventícias ao longo

deste. A faculdade de uma planta resistir ao enterramento do seu caule não é uma propriedade comum para a maioria das espécies. Frequentemente o caule, quando enterrado, apodrece e a planta deteriora-se e acaba por morrer.

A humidade no solo é um fator limitante ao enraizamento das estacas e Schiechtl (1973), na sua experiência alpina, refere o mês de Maio como o mês crítico, até ao qual tem de estar garantido o desenvolvimento de um sistema radicular que permita ultrapassar o período seco que se lhe segue. Esta limitação é menos decisiva em locais ou regiões onde a humidade do terreno é assegurada, quer pela presença da toalha freática ou de rios e ribeiras, ou quando os períodos secos são muito curtos. No entanto esta restrição torna-se o maior obstáculo ao sucesso da EN em clima mediterrânico.

Pode-se confirmar esta dificuldade nas primeiras experiências de EN levadas a cabo no parque nacional do Vesúvio. No fim do Inverno de 1988 foram aí plantadas estacas de *Salix alba* e *Salix alba ssp. vitellina*, segundo os esquemas de Schiechtl. Na primavera seguinte deu-se a rebentação radicular (ao longo de mais 1 m) e de nova folhagem, mas após o período de estio todas as estacas secaram, apesar dos salgueiros escolhidos serem autóctones e das estacas terem sido cortadas em árvores muito próximas do local de utilização. No período primaveril a experiência revestiu-se de um grande êxito, mas a secura de Junho a Setembro, reforçada pela existência de um solo vulcânico, rico em elementos minerais, mas muito poroso, não permitiu que as estacas sobrevivessem ao verão.

Depois deste primeiro insucesso, optou-se por utilizar plantas em lugar das estacas, em todas as aplicações de EN no parque nacional do Vesúvio (Bifulco, 2001). Nestas obras, as plantações não foram executadas como habitualmente, as plantas foram enterradas numa extensão importante do caule (mais de um metro, sempre que possível), deixando exteriormente apenas 10 cm. Os caules enterrados sub-horizontalmente contribuíram, com efeitos imediatos, para a consolidação do terreno atuando como uma escora. Este efeito fez-se sentir posteriormente, ainda com maior intensidade, através do enraizamento, não só da extremidade radicular, mas ao longo do caule. Desta forma foi possível resolver e ultrapassar o problema dos longos períodos de estio mediterrânico, utilizando espécies como: *Fraxinus ornus*, *Coronilla emerus*, *Colutea arborescens*, *Ligustrum vulgare*.

As obras de EN continuaram no parque nacional do Vesúvio, onde o autor C. Bifulco foi diretor de 1997 até 2005, coordenando uma equipa de técnicos e trabalhadores que se especializou na execução de obras de EN. O êxito das obras de EN aí realizadas desde 1998, ainda hoje verificável, testemunha o bom resultado do uso de plantas em lugar das estacas, em clima mediterrânico e em solos sujeitos à seca estival.

Do atrás exposto considera-se que uma, no mínimo, das seguintes características:

- estacas de espécies com uma boa capacidade de propagação vegetativa;
- plantas de caule resistente ao enterramento com faculdade de rebentação radicular na sua extensão;

discrimina as espécies lenhosas, árvores e arbustos, uteis como material vivo nas obras de EN (especificamente aquelas que visam a estabilização das encostas).

4.2.1.2. Seleção das espécies para projetos de EN

Devem registar-se à partida as diferenças entre o processo que leva à determinação das espécies adequadas às técnicas de EN - objetivo deste trabalho, e o processo que leva à escolha, de entre as plantas adequadas, das mais indicadas para um determinado local, numa situação específica - objetivo do projeto. Para que não se confundam estes dois objetivos, considera-se útil discutir, brevemente, os critérios que devem ser tidos em conta no processo de seleção das espécies num projeto de EN.

A escolha das espécies é de crucial importância quando se pretende promover a integração ecológica das obras de EN no ambiente envolvente. Assim, o primeiro critério de seleção das espécies recairá sobre as que se encontram em harmonia com a fitocenose do lugar e com as séries possíveis de sucessões ecológicas (Schiechtl, 1973; Sauli e Cornellini, 2002). O estudo da fitocenose é um instrumento facilitador da análise e da descrição da paisagem e possibilita ainda detetar, evidenciando, eventuais problemas do local que devem ser investigados com profundidade. Numa obra de EN a escolha das espécies (herbáceas, arbustivas e arbóreas) permite contribuir, por um lado para acelerar a evolução da sucessão ecológica favorecendo a constituição de

um bosque de espécies autóctones, ou por outro lado, para o estabelecimento de pastagens permanentes (Schiechtl, 1973). Quando a área de intervenção é um solo nu, nomeadamente resultante de uma escavação ou de um deslizamento, as informações serão recolhidas em parcelas de amostragem próximas ou em situação semelhante, permitindo identificar as plantas da associação previamente existente e quais as suas séries evolutivas, de modo a tentar reconstruir um ecossistema análogo. A posterior monitorização da obra permitirá a verificação dos pressupostos ecológicos do projeto, o assinalar de eventuais erros e a necessidade de uma intervenção de manutenção corretiva.

As condições edafo-climáticas do local de intervenção são outro fator essencial a considerar na seleção das espécies num projeto de EN. O tipo de solo e o bioclima (nomeadamente o termotipo que mede a intensidade do frio invernal e a amplitude térmica anual e o ombrotipo que mede a relação entre pluviosidade e temperatura) são fatores que caracterizam o tipo de vegetação potencial e permitem prever a ação dos agentes que influenciam os fenómenos erosivos, sendo por isso elementos essenciais a ter em conta.

A prática da EN desenvolvida na Europa central permitiu a elaboração de listas de plantas (Schiechtl, 1973; Florineth, 2004; Cornellini e Sauli, 2005) que respondem com maior eficácia aos diferentes tipos de solos (ácidos, salinos, áridos), amplitudes térmicas, humidade dos solos e intensidades luminosas.

Outros aspetos importantes na escolha das espécies a utilizar em projetos de EN são as suas propriedades tecnológicas, que se apresentam resumidas em listas de plantas, usualmente ordenadas pela importância dos seus elementos caracterizantes, e são:

- capacidade de reprodução por via vegetativa;
- capacidade de emissão de raízes caulinares adventícias;
- resistência à submersão (por períodos que podem ser prolongados);
- capacidade de consolidação do solo;
- resistência a ações mecânicas (corte e tração) por parte do sistema radicular;
- resistência das plantas ao arranque.

Estas propriedades tecnológicas das plantas não são, em regra, relevantes para os botânicos, mas fornecem dados fundamentais para a sua utilização

como materiais de construção necessários a qualquer obra de engenharia. O conjunto destas propriedades, físicas e tecnológicas, são o âmbito principal de estudo e de investigação da EN.

No entanto, frequentemente, não está disponível, como seria de esperar, material de propagação de todas as espécies que advêm do estudo fitossociológico (Schiechtl, 1973). Embora a opção mais correta seja a utilização de plantas autóctones, ecologicamente mais bem adaptadas, a existência de material de propagação dessas espécies é muitas vezes difícil. Um fator condicionante, frequentemente incontornável, é a indisponibilidade de grandes quantidades de material de propagação, sobretudo quando existem prazos a cumprir que não podem ser dilatados.

Devido à dificuldade em encontrar as espécies ecologicamente mais adequadas disponíveis em quantidades suficientes, as plantas selecionadas para as obras de EN têm sido, na realidade, as ecologicamente mais plásticas. Esta característica é um elemento de crucial importância e determinante nas escolhas que se fazem nos projetos de EN. Uma ampla adaptabilidade ecológica permite reduzidas exigências de balanço trófico, de disponibilidade de água e de temperatura, fazendo da espécie uma pioneira.

Na Europa central uma dessas espécies é o *Salix purpurea*, largamente utilizada não só pela sua plasticidade, mas também pela capacidade de enraizamento das suas estacas que ronda os 100% (Schiechtl, 1992). A EN utiliza de uma forma generalizada estacas de espécies com capacidade de propagação agâmica, ou vegetativa, diretamente colocadas em obra; a utilização de espécies que possuem esta capacidade é um garante da disponibilidade de uma grande quantidade de materiais vivos de fácil recolha. Por fim, a utilização de espécies plásticas diminui a possibilidade de insucesso da obra. Estas razões podem ter sido a causa dum uso, talvez excessivo, do *S. purpurea*, em detrimento de outras espécies.

O uso preponderante de espécies plásticas e pioneiras não é um obstáculo à reconstrução de uma série de vegetação. Schiechtl (1973) acompanhou a evolução de 106 das suas obras; verificando quais as espécies presentes após um intervalo de tempo variável de 2 a 14 anos. Os resultados obtidos referem-se a um total de 480 espécies, que se distribuíram da seguinte forma: 28 árvores, 41 arbustos, 329 herbáceas (graminoides e não graminoides), 82

criptogâmicas. Nestas obras, Schiechtl só tinha utilizado 124 espécies, um quarto do total encontrado. Schiechtl refere também que algumas das espécies pioneiras usadas já não existiam no momento da monitorização. As 356 novas espécies encontradas são a prova dos benefícios da EN que possibilita uma evolução natural a partir de um estado inicial, resultado de uma intervenção humana.

Para entender a dinâmica dos ecossistemas, resultantes das técnicas de EN, deve-se ter presente que as obras referidas por Schiechtl foram realizadas em taludes de estradas e autoestradas, em solos nus ou pedregosos, carentes de húmus, muito pouco férteis, íngremes, sensíveis à erosão, resultantes de escavações ou deposições de terrenos. Em situações como estas é muito difícil a instalação de vegetação sem intervenção humana, agravando-se em condições de clima árido ou semiárido.

Nestes casos, a utilização da EN e das suas técnicas parece ser a melhor solução para evitar processos erosivos e alcançar, em pouco tempo, uma decisiva cobertura vegetal. Se por outro lado, o impulso inicial dado por espécies pioneiras num solo nu, com a produção de biomassa e a ativação dos processos pedogenéticos, proporciona uma melhoria das condições edáficas e permite a aceleração da sucessão ecológica, por outro, nestes tipos de solos, resultantes de escavações ou de depósitos de terreno, a probabilidade de afirmação imediata das espécies clímax é praticamente nula por falta de adequadas condições edáficas.

Os critérios referidos neste subcapítulo são os que têm de ser considerados no projeto de uma qualquer obra de EN; o objetivo deste trabalho, a escolha das espécies lenhosas da flora portuguesa adequadas à utilização em EN, segue um processo complementar que agora será desenvolvido.

4.2.2. Fase divergente, espécies lenhosas portuguesas para potencial aplicação em obras de engenharia natural: análise bibliográfica

Existem muitas diferenças entre a flora portuguesa e as da Europa central e centro-meridional. São muitas as plantas referenciadas como adequadas às obras da EN que não se encontram em Portugal. O *Salix purpurea*, espécie amplamente aplicada na Europa central pelas suas características de versatilidade e adaptabilidade (Schiechtl, 1973), só existe em Portugal numa

limitadíssima área centrada no parque natural do Douro Internacional (Bingre *et al.*, 2007). Outros exemplos podem ser encontrados como o *Alnus cordata* ou a *Colutea arborescens*, espécies muito úteis em obras de EN da Itália meridional (Bifulco, 2001), porque fixam o azoto atmosférico e melhoram as características do solo, e ainda, *Fraxinus ornus* e *Coronilla emerus*. No entanto todos os exemplos referidos estão ausentes da flora portuguesa.

Nesta fase divergente pretende-se determinar um conjunto de espécies lenhosas, da flora do continente português, que aparentem ser boas *candidatas* à aplicação em obras de EN. No processo que se segue não se colocam objeções ou limitações à validade das candidaturas. Os critérios técnicos para definir o resultado desejado serão discutidos e aplicados na fase seguinte, chamada convergente.

De acordo com o exposto, trata-se de selecionar um amplo leque de espécies lenhosas que, sendo da flora portuguesa, se revelem adequadas às obras de EN. As espécies a selecionar nesta fase divergente deverão ter no mínimo uma das seguintes características:

- ter capacidade de propagação vegetativa por estaca,
- sendo plantas, permitir o enterramento do caule em cerca de 1m, sem comprometer a sua viabilidade e garantir a produção de raízes adventícias ao longo deste.

Posteriormente, na fase convergente, far-se-á uma avaliação que permitirá selecionar dentro das espécies *candidatas* quais as mais adequadas.

Piotto e Di Noi (2001), para além do quadro principal sobre a propagação por semente, disponibilizam também um quadro de amplas informações sobre a capacidade de propagação por via vegetativa de determinadas espécies de árvores e arbustos da flora mediterrânica; Cornellini e Sauli (2001, 2005) listam as principais espécies autóctones selecionadas para as intervenções de EN na Sardenha e as plantas adequadas às obras de EN, abrangendo já as recentes experiências desenvolvidas na Itália meridional; Bifulco (2001) refere as espécies utilizadas no parque nacional do Vesúvio.

No processo de aproximação às espécies *candidatas*, cruzaram-se as informações atrás referidas com as da flora de Portugal continental (Castroviejo *et al.*, 1986; UTAD, 2007; Bingre *et al.*, 2007), tendo-se considerado três tipos

de espécies e géneros botânicos:

- as espécies presentes na flora portuguesa;
- os géneros presentes na flora de Portugal, nos casos em que a capacidade de reprodução vegetativa era atribuída ao género sem distinção de espécie;
- as espécies da Europa central e centro meridional, quando a flora portuguesa referia outras espécies do mesmo género.

Sendo o objetivo deste trabalho a definição de um conjunto de plantas lenhosas da flora continental portuguesa adequadas às obras de EN, géneros e espécies da Europa central e centro meridional devem ser substituídos por espécies da flora portuguesa que possam justificadamente ser consideradas análogas. Operando esta substituição, no âmbito de um mesmo género, serão preferidas: (i) as espécies da flora portuguesa de ampla difusão geográfica, prescindindo daquelas com distribuição limitada; (ii) as espécies que apresentem testes efetuados em Portugal sobre a sua capacidade de enraizamento, com resultados mais satisfatórios em detrimento das que evidenciem resultados insatisfatórios; (iii) as espécies inermes em detrimento das espinhosas, tendo em conta a dificuldade de transporte e manipulação destas.

Dados particularmente interessantes sobre o enraizamento de estacas foram os obtidos através dos projetos realizados pela Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve (Martins, 2000; Costa *et al.*, 2000; DRAP ALGARVE, 2000).

As espécies do género *Salix* são fundamentais nas obras de EN realizadas na Europa central e centro-meridional. De realçar que os salgueiros da área alpina e do centro europeu foram amplamente utilizados e testados (Schiechtl, 1973; Schiechtl, 1996; Schiechtl e Stern, 1992), tendo-se verificado para todas as espécies, excetuando o *Salix caprea*, uma capacidade de propagação vegetativa variável, segundo a espécie, de um mínimo de 20% até um máximo do 100%. Consequentemente considera-se que todas as espécies de salgueiros autóctones, com ampla difusão territorial, excluindo o *Salix caprea*, podem integrar as espécies *candidatas*.

Nesta fase, dita divergente, em que se pretende elencar um abrangente

número de espécies passíveis de constituir soluções com resultados positivos é importante que a recolha da informação seja diversificada. Assim, considerou-se vantajoso conhecer a opinião de um experiente entendido em flora portuguesa sobre as plantas que apresentem um carácter pioneiro e/ou provável capacidade de propagação vegetativa e que se concretizou através de uma entrevista. As espécies sugeridas por José Carlos Augusta da Costa, professor do Instituto Superior de Agronomia (com. pess.) passaram a integrar o conjunto das *candidatas*.

4.2.3. Fase convergente: Critérios de seleção das espécies mais adequadas à EN em Portugal continental

Na prossecução deste trabalho pretende-se avaliar a adequação das espécies pertencentes ao conjunto das *candidatas* às técnicas praticadas pela EN em Portugal.

Para proceder a esta avaliação as informações disponíveis são (i) o grau de distribuição territorial da espécie em Portugal continental e (ii) a existência de dados bibliográficos - em publicações que se referem, (ii.a) a Portugal continental ou (ii.b), ao resto da Europa - sobre a capacidade de enraizamento da espécie por via vegetativa.

A distribuição geográfica, na *Flora Ibérica* (Castroviejo *et al.*, 1986), é definida por províncias (Minho, Douro Litoral, Trás os Montes, Beira Litoral, Beira Alta, Beira Baixa, Estremadura - com Lisboa e Setúbal, Ribatejo, Alto Alentejo, Baixo Alentejo, Algarve) e em cada uma delas a espécie pode estar presente ou não; na *Flora digital de Portugal* (UTAD, 2007) é apresentado um "mapa de distribuição do *taxon* em Portugal continental", subdividido geograficamente de acordo com a caracterização fitoclimatológica de João do Amaral Franco, no qual a espécie é, ou não, graficamente representada; no *Guia de campo* (Bingre *et al.*, 2007), quando a espécie é considerada autóctone, a distribuição é esquematizada num mapa de Portugal continental, sem subdivisões geográficas predefinidas, ficando a área de distribuição colorida, em contraste com aquela onde a espécie não está presente.

As três fontes não têm, por vezes, distribuições concordantes. Nestes casos, considerando que os diferentes autores podem referir-se a diferentes herbários e coleções, e ainda, a dados específicos de seu conhecimento, utilizar-se-á uma distribuição geográfica resultante da união das distribuições dos diferentes

autores.

Sobre a capacidade de enraizamento de espécies da flora portuguesa (*ii.a*) por via vegetativa, disponibilizam dados Mendes *et al.* (2008), Faria *et al.* (2008), Costa *et al.* (2000), DRAP ALGARVE (2000), Martins (2000).

Entre outros ensaios experimentais a maioria das experiências mencionadas descreve a percentagem de enraizamento de estacas de pequena dimensão (10 cm de comprimento e acerca de 1 cm de diâmetro), plantadas verticalmente, em ambiente controlado (temperatura e humidade), com rega e, muitas vezes, estimuladas com hormonas. Silva (2002) apresenta dados interessantes sobre o comprimento das raízes de algumas espécies observadas na natureza.

Indicações sobre espécies, de outras regiões europeias (*ii.b*), adequadas à EN são referidas por Aranzazu Prada e Aripze (2009), Florineth (2004), De Luca e Molinari (2003), Sauli *et al.* (2002), Schiechtl (1973, 1992).

Estes textos referem o uso de estacas da flora centro-meridional europeia, nas dimensões preconizadas por Schiechtl e colocadas no terreno de acordo com as técnicas por ele definidas.

A globalidade dos textos citados fornece dois tipos de dados:

- dados de carácter qualitativo relativos à capacidade de propagação vegetativa:
 - boa, média, má;
 - possível, frequente, difícil;
 - adequada, não adequada;
- dados de carácter quantitativo: percentagens de enraizamento resultantes das experiências dos autores ou, referências bibliográficas por estes utilizadas.

Os dados mais pormenorizados de Schiechtl (1973, 1992) referem-se às espécies usadas na Europa central, resultantes de experiências no terreno por longos períodos e em anos sucessivos, incluindo percentagens de enraizamento, volume radicular e volume da folhagem.

Pignatti e Crobeddu (2005) apresentam diferenças relevantes nos dados de enraizamento de estacas para algumas espécies lenhosas mediterrânicas, quando comparados com a restante bibliografia. Esta diferença deve-se ao

facto de se tratar de estacas de material não lenhificado, cortadas de plantas mães rejuvenescidas, ou seja, obtidas de uma estaca do ano anterior. Verifica-se neste caso que o enraizamento é superior ao de estacas recolhidas de uma planta mãe com cerca de 20 anos.

Cornelini e Sauli (2005) e Florineth (2004) fornecem também indicações qualitativas sobre a capacidade das espécies emitirem raízes caulinares adventícias.

Depois da recolha dos dados bibliográficos, a avaliação das espécies incluídas nas *candidatas* teve em conta as seguintes condições:

- Existência de referências bibliográficas sobre a espécie nas publicações portuguesas ou europeias, diferenciando entre presença de referência positivas (REF) ou referências inexistentes ou insatisfatórias (enraizamento <50% ou propagação vegetativa difícil) (REF) .
- Distribuição geográfica da espécie, distinguindo entre espécies de média ou ampla difusão (DIF), com uma distribuição geográfica superior a um terço do território de Portugal continental, e espécies de reduzida difusão (DIF),
- Existência de resultados positivos sobre o enraizamento da espécie nas publicações portuguesas, discriminando entre presente (POR) e ausente (POR).

As espécies listadas são avaliadas pelas suas características e, de acordo com o conjunto de atributos que lhe estão associados, é possível determinar da sua adequabilidade à EN. Exemplificando: as espécies distribuídas em todo o território continental português, descritas como tendo, em Portugal, estacas com boas percentagens de enraizamento, serão as adequadas para uso em obras de EN, podendo ser consideradas como espécies já confirmadas para esta utilização; por outro lado, espécies com limitada distribuição, mesmo que bem referenciadas ao nível do seu enraizamento, só poderão ser úteis aos trabalhos de EN em determinadas áreas, o que as torna menos interessantes; espécies com limitada distribuição e insatisfatórias referências bibliográficas terão um interesse muito reduzido.

Do referido conclui-se que os estudos de campo devem centrar-se nas espécies mais interessantes do ponto de vista da sua abrangência territorial e

sobre as quais a bibliografia não permite definir o sucesso da capacidade de enraizamento.

Tendo Portugal continental, na maioria do seu território, um clima mediterrânico (Mesquita, 2005), as estacas só poderão ser utilizadas com êxito nas aplicações de EN perto de rios, nas outras áreas é necessário usar plantas com o caule enterrado. Por isso será prioritário testar as espécies que tenham boa distribuição geográfica e cuja capacidade de emissão de raízes caulinares adventícias não esteja ainda confirmada. Será então sobre estas espécies que se devem centrar os ensaios experimentais a levar a cabo.

Para descrever as condições e as ações que se seguem é mais eficaz o uso de dois instrumentos da álgebra booleana: o diagrama de Veitch e a árvore de decisões.

O diagrama de Veitch (Figura 4-6) representa-se através de uma caixa, dividindo-se o seu universo segundo uma ou mais condições e as suas complementares negações; neste caso, de acordo com as condições resultantes da avaliação realizada para a qualificação das espécies *candidatas*.

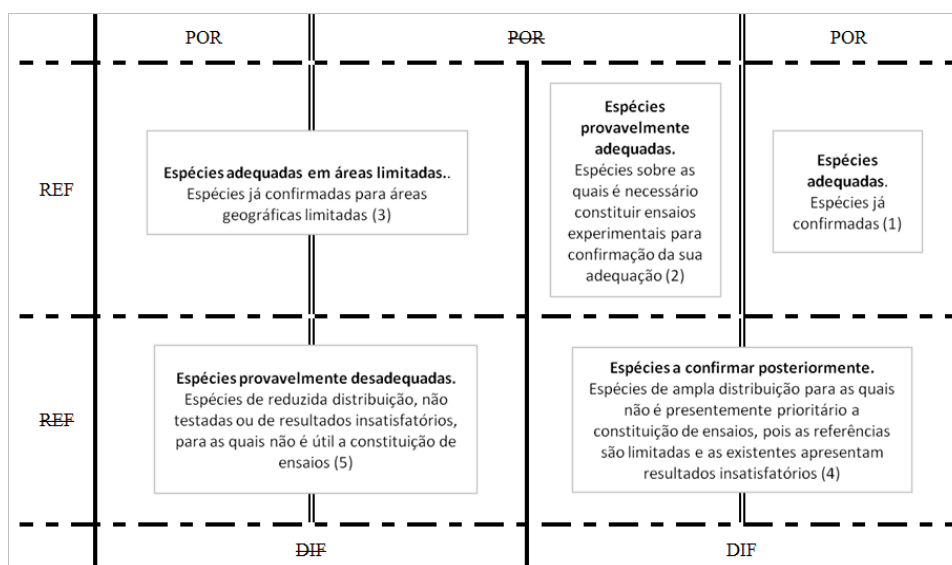


Fig. 5-6 Diagrama de Veitch

LEGENDA

Referências bibliográficas sobre o enraizamento: presença (REF) ou ausência (REF)

Distribuição geográfica: média e ampla (DIF) ou reduzida (DIF)

Dados positivos sobre o enraizamento publicados em Portugal: presentes (POR) ou ausentes (POR).

À medida que o número n das condições vai crescendo o universo das eventualidades do diagrama de Veitch vai-se subdividindo em potências de 2 para n . Considerou-se em primeiro lugar a intersecção de 2 condições:

presença (REF) ou ausência (REF) de referências bibliográficas positivas e a ampla (DIF) ou limitada (DIF) difusão geográfica, o que resultou em 4 (2^2) divisões. Seguidamente introduziu-se a condição: presença (POR) ou ausência (POR) de resultados positivos sobre enraizamento nas publicações portuguesas, dando origem a 8 (3^2) divisões. Cada divisão representa um procedimento, consequência do conjunto de condições que se intersectam. No caso em que diferentes condições impliquem ações iguais, estas agrupam-se.

As simplificações evidenciadas no diagrama de Veitch dão origem à árvore de decisões, exposta na Figura 4-7, que permite separar, sem sobreposições, o tratamento da informação, obtendo-se uma subdivisão simplificada das espécies *candidatas*. Assim, seguindo as evidências gráficas do diagrama, apresenta-se a árvore de decisões que minimiza o número de testes a efetuar.

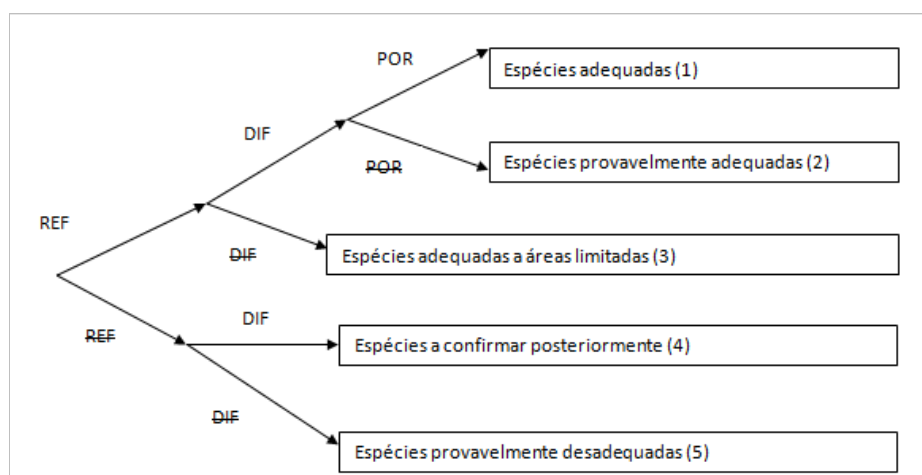


Fig. 5-7 Árvore de decisões

LEGENDA

Referências bibliográficas sobre o enraizamento: presença (REF) ou ausência (REF)

Distribuição geográfica: média e ampla (DIF) ou reduzida (DIF)

Dados positivos sobre o enraizamento publicados em Portugal: presentes (POR) ou ausentes (POR).

4.3. Resultados

Os resultados da fase divergente são sintetizados na tabela seguinte (Tab. 4-1) que apresenta a lista das espécies *candidatas*. Na coluna "Género" está patente o género das espécies que resultaram da análise bibliográfica e da entrevista ao Prof. José Carlos Augusta da Costa; na coluna "Referências" estão elencadas as fontes de informação sobre as espécies selecionadas.

Quando a capacidade de reprodução vegetativa está associada ao género, na coluna "Espécie selecionada", é indicado "*spp.*". Quando as espécies selecionadas pertencem à flora portuguesa, na coluna "Espécie da Flora Portuguesa *candidata*" o seu nome é repetido; quando não pertence, são

consideradas outras espécies análogas, como já referido na fase divergente. Na última coluna indicam-se outras referências bibliográficas sobre a espécie.

Tab. 5-1 Resultados da fase divergente

Género	Espécie seleccionadas	Referências	Espécies candidatas	Post. Refer.
Acer	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	D	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	L
	<i>Acer campestre</i> L.	A, C, D, L	<i>Acer monspessulanum</i> L.	
Adenocarpus	<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay in Durieu	Q	<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay in Durieu	
	<i>Adenocarpus lainzii</i> (Castrov.) Castrov.	Q	<i>Adenocarpus lainzii</i> (Castrov.) Castrov.	
<i>Alnus</i>	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	A, D, M, N	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	E, K, L
<i>Arbutus</i>	<i>Arbutus unedo</i> L.	A	<i>Arbutus unedo</i> L.	G, I, J, P
<i>Atriplex</i>	<i>Atriplex halimus</i> L.	A	<i>Atriplex halimus</i> L.	G
<i>Buxus</i>	<i>Buxus sempervirens</i> L.	D	<i>Buxus sempervirens</i> L.	
<i>Calluna</i>	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Q	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	
<i>Celtis</i>	<i>Celtis australis</i> L.	A, C	<i>Celtis australis</i> L.	J
<i>Cornus</i>	<i>Cornus mas</i> L.	A, L, N	<i>Cornus sanguinea</i> L.	
Coronilla	<i>Coronilla emerus</i> L.	C, D	<i>Coronilla glauca</i> L.	G
		C, D	<i>Coronilla juncea</i> L.	
		C, D	<i>Coronilla repanda</i> (Poir.) Guss.	
<i>Corylus</i>	<i>Corylus avellana</i> L.	C, D, N	<i>Corylus avellana</i> L.	L, K
<i>Crataegus</i>	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	A, C, D	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	L
Cytisus	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	A, C	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	
	spp.	A	<i>Cytisus arboreus</i> (Desf.) DC.	
		A	<i>Cytisus grandiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	
		A	<i>Cytisus multiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	
		A	<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.	
<i>Daphne</i>	<i>Daphne gnidium</i> L.	A	<i>Daphne gnidium</i> L.	I
<i>Erica</i>	<i>Erica arborea</i> L.	Q	<i>Erica arborea</i> L.	
<i>Euonymus</i>	<i>Euonymus europeus</i> L.	A, C, D	<i>Euonymus europeus</i> L.	L
<i>Frangula</i>	<i>Frangula alnus</i> Mill.	D	<i>Frangula alnus</i> Mill.	E, F, L
<i>Fraxinus</i>	spp.	A, C, D	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl	E, F, L
<i>Genista</i>	spp.	A	<i>Genista florida</i> L.	
<i>Hypericum</i>	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	Q	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	
<i>Inula</i>	<i>Inula viscosa</i> (L.) Aiton	A	<i>Inula viscosa</i> (L.) Aiton	
<i>Jasminum</i>	<i>Jasminum fruticans</i> L.	Q	<i>Jasminum fruticans</i> L.	
<i>Juniperus</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	A, B	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	
<i>Laurus</i>	<i>Laurus nobilis</i> L.	C	<i>Laurus nobilis</i> L.	G, J, P
Lavandula	<i>Lavandula spica</i> L.	A	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>Luisieri</i> Rivas Martinez	B, H, I
		A	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>Pedunculata</i> Mill.	B, G
<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	A, C, D	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	L
<i>Myrica</i>	<i>Myrica faya</i> Aiton	Q	<i>Myrica faya</i> Aiton	
<i>Myrtus</i>	<i>Myrtus communis</i> L.	A	<i>Myrtus communis</i> L.	G, I, J, P
<i>Nerium</i>	<i>Nerium oleander</i> L.	A, B	<i>Nerium oleander</i> L.	F, G, J, L
<i>Osyris</i>	<i>Osyris alba</i> L.	Q	<i>Osyris alba</i> L.	
<i>Phillyrea</i>	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	A	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	T
<i>Pistacia</i>	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Q	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	G, I, J, P
Populus	<i>Populus alba</i> L.	A, C, D	<i>Populus alba</i> L.	J, K, L
	<i>Populus nigra</i> L.	D	<i>Populus nigra</i> L.	E, F, K, L
Prunus	spp.	A	<i>Prunus avium</i> L.	L
	spp.	A	<i>Prunus lusitanica</i> L.	
<i>Rhamnus</i>	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	A, D	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	G
<i>Rosa</i>	<i>Rosa canina</i> L.	A	<i>Rosa canina</i> L.	
<i>Rosmarinus</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	A	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	G
Salix	<i>Salix alba</i> L.	C, D, M, N	<i>Salix alba</i> L.	L
	spp.	D, N	<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	E, L, O
		D, N	<i>Salix triandra</i> L.	K, L
		D, N	<i>Salix repens</i> L.	O
		D, N	<i>Salix neotricha</i> Goerz	P
		D, N	<i>Salix salviifolia</i> Brot.	E, F, L
<i>Sambucus</i>	<i>Sambucus nigra</i> L.	Q	<i>Sambucus nigra</i> L.	L, J
<i>Tamarix</i>	<i>Tamarix africana</i> Poir.	A	<i>Tamarix africana</i> Poir.	E, F, G, L
<i>Thymus</i>	spp.	A	<i>Thymus mastichina</i> L.	H
<i>Viburnum</i>	<i>Viburnum tinus</i> L.	A, D	<i>Viburnum tinus</i> L.	G, J
<i>Vitis</i>	<i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sylvestris</i> L.	Q	<i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sylvestris</i> L.	J
Referências				
A. Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea (Piotto e Di Noi, 2001)				
continua na página seguinte				

B. <i>L'ingegneria naturalistica nelle aree mediterranee</i> (Cornellini e Sauli, 2001)
C. <i>L'ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio</i> (Bifulco, 2001),
D. <i>Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica</i> (Cornellini e Sauli, 2005);
E. <i>RICOVER (SOE1/P2/P248) Projecto Recuperação de Rios no SUDOE Europeu; Metodologias de Caracterização, Identificação e Pré-Actuação em Áreas para Restauro Fluvial Aplicação às Ribeiras do Algarve (2009-2010)</i> (Mendes et al., 2008);
F. <i>Contributo para a produção em viveiro de plantas lenhosas ribeirinhas de qualidade</i> (Faria et al., 2008);
G. <i>Relatório final do Projecto INTERREG II Estudo de diversas espécies da flora autóctone mediterrânea com interesse ornamental (1998-2000)</i> (Costa et al., 2000)
H. <i>Relatório final do Projecto INTERREG Introdução de novas espécies ornamentais no mercado europeu, adaptadas a condições secas e salinas</i> (DRAP Algarve, 2000)
I. <i>Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da tapada nacional de Mafra</i> (Sande Silva, 2002)
J. <i>Guia de propagação de árvores e arbustos ribeirinhos, um contributo para o restauro de rios na região Mediterrânica</i> (Aranzazu-Prada e Aripze, 2009);
K. <i>Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica</i> , (De Luca e Molinari, 2003);
L. <i>Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico</i> (Florineth, 2004).
M. <i>Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico</i> , (Sauli et al. 2002);
N. <i>Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi – metodi</i> (Schiechtl, 1973);
O. <i>I salici nell'uso pratico</i> (Schiechtl 1992).
P. <i>Effects of rejuvenation on cutting propagation of Mediterranean shrub species</i> (Pignatti e Crobeddu, 2005).
Q. <i>Comunicação pessoal</i> (Carlos Costa, 2011).

A análise dos atributos das espécies *candidatas*, avaliadas de acordo com o descrito no parágrafo 4.2.3, resulta nesta tabela 4-2, onde as espécies se encontram subdivididas de acordo com as categorias definidas no diagrama de Veitch e na árvore de decisões.

Tab. 5-2 Resultados da fase convergente

	Espécies	Nome comum
Espécies adequadas (1)	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Amieiro
	<i>Atriplex halimus</i> L.	Salgadeira
	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	Pilriteiro
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	Sanguinho bastardo
	<i>Nerium oleander</i> L.	Cevadilha; Loendro
	<i>Populus alba</i> L.	Choupo branco
	<i>Populus nigra</i> L.	Choupo negro
	<i>Rosa canina</i> L.	Roseira brava
	<i>Salix alba</i> L.	Salgueiro branco
	<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Borrazeira preta
	<i>Salix neotricha</i> Goerz	Vimeiro
	<i>Salix salviifolia</i> Brot.	Borrazeira branca
	<i>Tamarix africana</i> Poir.	Tamargueira
	<i>Thymus mastichina</i> L.	Tomilho alvadio
	<i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sylvestris</i> L.	Vinha brava
Espécies provavelmente adequadas (2)	<i>Celtis australis</i> L.	Lódão bastardo
	<i>Coronilla glauca</i> L.	Pascoinhas
	<i>Daphne gnidium</i> L.	Trovisco
	<i>Corylus avellana</i> L.	Avelaneira
	<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl	Freixo
	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>Luisieri</i> Rivas Martinez	Rosmaninho
	<i>Phillyrea angustifolia</i> L.	Aderno de folhas estreitas
	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Alecrim
	<i>Sambucus nigra</i> L.	Sabugueiro
	<i>Viburnum tinus</i> L.	Folhado
Espécies adequadas a áreas limitadas (3)	<i>Cornus sanguinea</i> L.	Sanguinho
	<i>Euonymus europaeus</i> L.	Evónimo
	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Alfenheiro
	<i>Salix repens</i> L.	Salgueiro anão
	<i>Salix triandra</i> L.	Salgueiro com folhas de amendoeira
continua na página seguinte		

	Espécies	Nome comum
Espécies a confirmar posteriormente (4)	<i>Adenocarpus lainzii</i> (Castrov.) Castrov.	Codeço
	<i>Arbutus unedo</i> L.	Medronheiro
	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	Urze roxa
	<i>Coronilla repanda</i> (Poir.) Guss.	Pascoinhas
	<i>Cytisus grandiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	Giesta branca
	<i>Cytisus multiflorus</i> (L'Hér.) Sweet	Giesta branca
	<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	Giesta
	<i>Cytisus striatus</i> (Hill) Rothm.	Giesta amarela
	<i>Erica arborea</i> L.	Urze branca
	<i>Genista florida</i> L.	Piorno dos tintureiros
	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	Mijadeira
	<i>Inula viscosa</i> (L.) Aiton	Tágueda
	<i>Jasminum fruticans</i> L.	Jasmineiro do monte
	<i>Laurus nobilis</i> L.	Loureiro
	<i>Lavandula stoechas</i> ssp. <i>pedunculata</i> Mill.	Rosmaninho maior
	<i>Myrtus communis</i> L.	Murta
	<i>Osyris alba</i> L.	Retama
	<i>Pistacia lentiscus</i> L.	Lentisco
	<i>Prunus avium</i> L.	Cerejeira brava
	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	Aderno bastardo
Espécies provavelmente desadequadas (5)	<i>Acer monspessulanum</i> L.	Bordo de Montpellier
	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Bordo
	<i>Adenocarpus complicatus</i> (L.) J. Gay in Durieu	Codeço
	<i>Buxus sempervirens</i> L.	Buxo
	<i>Coronilla juncea</i> L.	Pascoinhas
	<i>Cytisus arboreus</i> (Desf.) DC.	Giesta
	<i>Juniperus oxycedrus</i> L.	Zimbro
	<i>Myrica faya</i> Aiton	Faia
	<i>Prunus lusitanica</i> L.	Azereiro

Chama-se à atenção que entre as Espécies adequadas (1) se encontram sobretudo plantas ripícolas, testadas pela DRAP Algarve e pelo ISA de Lisboa e as já consideradas adequadas pelas referências europeias. No conjunto das espécies *candidatas* há duas, *Vitis vinifera* ssp. *sylvestris* e *Rosa canina* que, apesar das diminutas informações recolhidas nos textos consultados, são historicamente conhecidas, no mundo da viticultura e da floricultura, pelas suas capacidades de reprodução vegetativa.

Chama-se ainda à atenção que, entre as espécies acima referidas, se encontram *Populus alba* e *Populus nigra*, consideradas espécies de rápido crescimento pelo Decreto-lei 175/88, desde que exploradas em rotações inferiores a dezasseis anos, não sendo esta uma condição que se aplique às típicas intervenções de EN. No entanto no que se refere ao *Populus alba* a situação complica-se. Esta é considerada uma espécie autóctone em Portugal, segundo Castroviejo *et al.* (1986) e UTAD (2007), não o sendo de acordo com Bingre *et al.* (2007). De facto faz parte do anexo I do Decreto-lei 565/99, onde se listam as espécies não indígenas de Portugal, sendo considerado como espécie não invasora e, conseqüentemente, não sendo interdita a sua

introdução em natureza. No entanto, tendo em conta tudo o que foi citado e aplicando o princípio da precaução, propõe-se o uso, em lugar do *Populus alba*, de outras espécies indígenas adequadas aos fins da EN.

Do conjunto das Espécies provavelmente adequadas (2) incluem-se plantas presentes nos matos e que desfrutem de uma ampla distribuição em Portugal. Sobre estas existem referências da sua capacidade de propagação vegetativa na Europa, mas com informações limitadas, ou mesmo ausentes, relativas à sua utilização em Portugal. Nestes casos dever-se-ia confirmar a sua adequação através da constituição de ensaios experimentais que permitiriam comprovar os dados já adquiridos. As espécies deste grupo, se confirmada a sua adequação, sendo de larga difusão, poderiam ser utilizadas em obras de EN, com o objetivo de estabilização e consolidação de solos, incluindo as áreas não ripárias, num extenso território de Portugal continental.

De entre as Espécies adequadas a áreas limitadas (3) há plantas presentes em Trás-os-Montes: *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaeus*, *Ligustrum vulgare* e *Salix triandra*, na Beira Litoral e no Douro Litoral: *Cornus sanguinea* e *Salix repens*. Estas espécies não precisam de ser testadas, podendo já ser utilizadas nas suas áreas territoriais. *Salix repens*, em conjunto com outras espécies herbáceas, pode ter aplicações muito úteis na fixação das dunas litorais. No caso de futuros estudos indicarem que espécies endémicas da flora dos Açores e da Madeira são adequadas às obras de EN, então estas deverão pertencer a este grupo.

Da lista de Espécies a confirmar posteriormente (4) constam plantas amplamente disseminadas em Portugal, mas que apresentam informações muito limitadas ou pouco satisfatórias sobre as suas capacidades de propagação vegetativa. Nestes casos não parece vantajosa, no curto prazo, a constituição de ensaios experimentais tendo em conta que os resultados obtidos, sendo pouco previsíveis, têm menor probabilidade de serem frutuosos, podendo posteriormente, num prazo mais alargado, proceder-se à realização de campos de ensaio para estas espécies. Neste grupo estão também presentes espécies típicas da flora mediterrânica que apresentam dados de enraizamento em estaca muito variáveis, apenas positivos nas experiências citadas por Pignatti e Crobeddu (2005), desenvolvidas com estacas de plantas mães rejuvenescidas.

No conjunto das Espécies provavelmente desadequadas (5) estão agrupadas

as plantas com reduzida distribuição em Portugal, sem testes ou com resultados insatisfatórios nos testes efetuados em Portugal. Nestes casos não teria qualquer interesse planejar ensaios, mesmo a longo prazo, considerado o uso limitado que estas espécies poderiam ter, mesmo que viessem a obter resultados positivos.

Tendo em conta que os trabalhos de investigação nesta matéria são exigentes em recursos financeiros, propõe-se que as espécies a testar sejam apenas as mais significativas, deduzidas a partir das seguintes considerações já só incidentes sobre as espécies provavelmente adequadas:

- Do elenco de espécies provavelmente adequadas, as que têm menor número referências bibliográficas, são: *Coronilla glauca*, *Phillyrea angustifolia* e *Daphne gnidium*, não tendo sido por isso consideradas
- Para a concretização do efeito de consolidação do terreno é importante a profundidade atingida pelas raízes das plantas; sendo referido, para a *Lavandula stoechas* ssp. *luisieri*, a existência de raízes muito pouco profundas (Silva, 2002), considera-se esta espécie menos interessante face a outras para este propósito.
- Entre as espécies restantes é *Celtis australis* a que apresenta uma mais limitada distribuição geográfica em Portugal, conseqüentemente menos interessante; *Corylus avellana* foi deixada ao lado sendo disponíveis plantas com especialização na produção do fruto e por isso com cultivar que podem ser diferentes das plantas de origem silvestre.

De acordo com o exposto e tendo como objetivo a sua utilização na consolidação das encostas, as quatro espécies sobre as quais existe maior interesse em testar a sua capacidade de enraizamento caulinar adventício, são as referidas na Tabela 4-3:

Tab. 5-3 Espécies a submeter á ensaios

Espécies a testar
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.
<i>Sambucus nigra</i> L.
<i>Viburnum tinus</i> L.

4.4. Conclusão

Não existem limitações significativas à execução das obras de EN em ambientes húmidos, ou seja, perto de rios e linhas de água ou onde se

registam chuvas frequentes; pelo contrário, a implementação de obras de EN em áreas sujeitas à seca estival, como no caso do clima mediterrânico, fica limitada, tendo sido poucas as experiências em que se conseguiram amplos êxitos positivos.

A revisão da bibliografia permitiu a comparação de dados obtidos através de experiências com diferentes abordagens, quer no que se refere ao ambiente onde foram desenvolvidas, quer aos materiais de propagação utilizados. Ou seja, em ambiente controlado foram utilizadas sobretudo estacas verdes, finas e curtas, colocadas em posição vertical e com aplicação de hormonas de enraizamento; por outro lado, nas experiências de campo, foram colocadas estacas lenhosas, com acerca de um metro de comprimento e diâmetros superiores a três centímetros, em posição sub-horizontal, sem utilização de hormonas. A mesma revisão bibliográfica permitiu ainda constatar importantes diferenças na percentagem de enraizamento das estacas em ambiente controlado, quando estas são cortadas de plantas mães jovens ou rejuvenescidas, ou quando são cortadas de plantas mães com mais de 20 anos.

A EN apresenta uma vasta série de modelos de intervenção ricos em pormenores construtivos, não parecendo necessário aprofundar esta matéria. Para este facto contribuiu também a entrada no mercado de novos materiais "mortos" desenvolvidos pela indústria, no entanto estes mesmos materiais tornam a EN menos natural. O desafio da EN é a definição de espécies das floras dos diferentes países e regiões, a utilizar principalmente em situações onde os períodos de estio funcionam como um importante fator limitante. O aumento do conhecimento nesta última linha de ação poderá tornar a EN uma ferramenta muito útil no combate à desertificação.

Os resultados obtidos da análise do conhecimento pré-existente propõem, como rumo a seguir na prossecução destes estudos, o alargamento das pesquisas sobre o enraizamento caulinar adventício, já realizadas no parque nacional do Vesúvio, ou efetuadas por Florineth (2004) ou ainda, indicadas por Cornellini e Sauli (2005).

Tendo em conta a importância dos fenómenos de erosão, deslizamentos e desmoronamento acontecidos no passado recente na Madeira, mas também nos Açores, e tendo em consideração as particularidades da flora e dos endemismos destas ilhas, seria também útil aprofundar a pesquisa sobre as

características de propagação daquelas espécies, com o intuito de se poderem desenvolver nestas regiões aplicações da EN.

O estudo do enraizamento caulinar adventício será o objetivo de ensaios experimentais a levar a cabo sobre as quatro espécies provavelmente adequadas, determinadas no parágrafo anterior. Pretende-se ainda em 2012 iniciar ensaios utilizando as quatro espécies referidas, em diferentes condições: em substrato de turfa e vermiculite (i) no viveiro do Instituto Superior de Agronomia (ISA) em Lisboa; no campo, em solos de origem basáltica (ii) e calcária (iii), ainda na Tapada de Ajuda, no perímetro do ISA e, em solos de origem xistosa (iv) e granítica (v), em terrenos geridos pelo Município de Santo Tirso (NUT Grande Porto), no lugar da Ermida e no Monte Padrão. Do resultado destes ensaios se concluirá da adequação destas espécies da flora do continente português a obras de engenharia natural.

A EN é uma área que merece ser melhor conhecida, experimentada e utilizada em Portugal, no continente e nas ilhas. Numa altura de recursos escassos mas de grandes preocupações ambientais, nomeadamente no que respeita à conservação da biodiversidade, a utilização dos recursos endógenos no que respeita às espécies da flora portuguesa e ao trabalho nacional parece ser uma combinação a explorar com todas as vantagens. Falta conhecimento e experimentação. Pretendemos com este trabalho sistematizar algum conhecimento e lançar as bases lógicas dessa experimentação.

Referências bibliográficas

- Aranzazu Prada, M., Aripze, D., 2009. *Guia de propagação de árvores e arbustos ribeirinhos, um contributo para o restauro de rios na região Mediterrânica*. Ripidurable project, Sintra, p. 203.
- Bezzi, C., Baldini, I., 2006. *Il brainstorming, pratica e teoria*. Franco Angeli Editore, Milano, p.240
- Bifulco, C., 2001. 'L'ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio. Em Bifulco,C. (Ed.), 2001, *Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*. Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, p. 3-13.
- Bingre, P., Aguiar, C., Espírito-Santo, D. Arsenio, P., Monteiro-Henriques, T., 2007. *Guia de campo – As árvores e os arbustos de Portugal continental*. Jornal Publico/ Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Liga para a Proteção da Natureza, Lisboa, p. 462.
- Castroviejo, et al., 1986. *Flora iberica*. <http://www.floraiberica.org/> (consultado em 02/02/2011)
- Cornellini, P., Sauli, G., 2001. 'L'ingegneria naturalistica nelle aree mediterranee', Em Bifulco,C. (Ed.), 2001, *Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*. Ente Parco Nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, p. 71-85.
- Cornellini, P., Sauli, G., 2005. *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Direzione Generale per la Difesa del Suolo – PODIS, Roma, p. 389.

- Costa, J., Costa, M., Monteiro, I., Farinhó, M., 2000. *Relatório final do Projecto INTERREG II Estudo de diversas espécies da flora autóctone mediterrânea com interesse ornamental (1998-2000)*.
http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/InterregII_Flora_Autoctone/Brochura_Flora_Autoctone.pdf (consultado em 02/02/2011)
- De Luca, A., Molinari, V., 2003. *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica*. Regione Piemonte, Torino, p.381.
- DRAP ALGARVE, 2000. *Relatório final do Projecto INTERREG II Introdução de novas espécies ornamentais no mercado europeu, adaptadas a condições secas e salinas*.
http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/Ornamentais/AIR/Relatorio_final_AIR.pdf (consultado em 02/02/2011)
- Faria, C., Fabião, A., Pereira, M., Almeida, M., Fabião, A., 2008. *Contributo para a produção em viveiro de plantas lenhosas ribeirinhas de qualidade*. http://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1268/1/REP-Fabiao%2c%20A.-Faria_et_al_2008.pdf (consultado em 02/02/2011)
- Florineth, F., 2004. *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. Ed. 2007, Il verde editoriale, Milano, p. 280.
- Martins, M., 2000. *Relatório final do Projecto INTERREG II Estudo de plantas aromáticas, condimentares e medicinais (1998-2000)*. http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/Aromaticas/INTERREG%20II_PAM_Rel%20Final.pdf (consultado em 02/02/2011)
- Mendes, A., Barroso, A., Fabião, A., Albuquerque, A., Fabião, A., Faria, C., Almeida, M., Ferreira, M., 2008. RICOVER (SOE1/P2/P248) *Projecto Recuperação de Rios no SUDOE Europeu; Metodologias de Caracterização, Identificação e Pré-Actuação em Áreas para Restauro Fluvial Aplicação às Ribeiras do Algarve (2009-2010)*. <http://www.interreg-sudoe.eu/PRT/f/138/17/RICOVER/Os-projectos-aprovados/Recuperaco-de-rios-no-SUDOE-Europeu> (consultado em 02/02/2011)
- Mesquita, S., 2005. 'Modelação Bioclimática de Portugal Continental'. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p. 129.
- Pignatti, G., Crobeddu, S., 2005. 'Effects of rejuvenation on cutting propagation of Mediterranean shrub species'. *Forest@* 2(3):290-295. http://www.sisef.it/forest@/pdf/Pignatti_308.pdf (consultado em 02/02/2011)
- Piotto, B., Di Noi, A., 2001. *Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma, p. 211.
- Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F., 2002. *Manuale di ingegneria naturalistica applicabile al settore idraulico*. Regione Lazio, Roma, p. 421.
- Schiechtl, H., 1973. *Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi - metodi*. Ed. 1985 Edizioni Castaldi, Feltre, p. 263.
- Schiechtl, H., 1992. *I salici nell'uso pratico*. Ed. 1996, Edizioni Arca, Trento, p. 178.
- Schiechtl, H., Stern, R., 1992. *Ingegneria naturalistica, manuale delle opere in terra*. Edizioni Castaldi, Feltre, p. 163.
- Silva, J., 2002. 'Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da tapada nacional de Mafra', Tese de Doutoramento em Engenharia Florestal, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p. 137.
- UTAD, 2007. *Flora digital de Portugal*. http://www.jb.utad.pt/pt/herbario/cons_reg.asp (consultado em 02/02/2011)

6. SOIL BIOENGINEERING PROJECTS: ADEQUACY TESTS FOR PLANT SPECIES⁴

Abstract

The paper describes rooting tests for four species of the Portugal mainland flora with a wide territorial distribution (*Fraxinus angustifolia*, *Sambucus nigra*, *Rosmarinus officinalis*, and *Viburnum tinus*). The objective of the study is to verify the suitability of the roots and buried stems of these species to soil reinforcement, in order to apply these results to soil bioengineering and ecological restoration projects in Mediterranean environment.

Five experimental plots, with different soil characteristics, were settled in Lisbon and Santo Tirso (Porto district), in early February 2012 simulating a live crib wall structure. The small rooted plants used were installed in individual bags to make their extraction easier and to have the same available soil volume. After 26 months a destructive analysis was carried out, obtaining measurements of root systems and above ground elements, namely geometric dimensions and mass in term of dry weight.

All species showed a positive response to stem burying, as all live plants produced adventitious roots on the buried stems and new roots sprouted from the original root-ball. Relevant quantities of adventitious and new roots were able to reinforce soil. These species, that showed ability to be used in soil bioengineering projects in Mediterranean environment, had already been used in Portugal in 2014 and 2015 in soil bioengineering projects carried out near Lisbon.

Significant dependencies of plant parameters on plot or on species factors were found, as well as significant correlations were detected between above ground and below ground parameters of new roots.

Key-words: Adventitious roots; slope stabilization; soil bioengineering; Mediterranean climate; mainland Portugal flora.

⁴ Baseado na comunicação oral: Bifulco, C., Rego, F., 2014, 'Development of adventitious roots on stem in four species of mainland Portugal flora'. In *Ponentes, VIII Congreso AEIP, III Congreso APENA y VIII Congreso EFIB BIOINGENIERÍA e INFRAESTRUCTURA VERDE: una oportunidad para la biodiversidad y el empleo*, 23,24 y 25 de octubre 2014 Vitoria-Gasteiz.

PROJETOS DE ENGENHARIA NATURAL: TESTES DE APTIDÃO PARA PLANTAS DA FLORA DE PORTUGAL CONTINENTAL

Resumo

Este artigo descreve os testes de enraizamento adventício para quatro espécies da flora de Portugal continental que apresentam uma ampla distribuição territorial (*Fraxinus angustifolia*, *Sambucus nigra*, *Rosmarinus officinalis*, e *Viburnum tinus*). O objetivo deste estudo é verificar se o desenvolvimento dos sistemas radiculares destas espécies, instaladas com o caule enterrado, é o apropriado para o reforço dos solos, tendo como objetivo a sua aplicação em projetos de engenharia natural realizados em ambiente mediterrânico.

No início de fevereiro 2012 implantaram-se cinco parcelas experimentais, em solos de diferentes características, localizados em Lisboa e Santo Tirso (Distrito de Porto), simulando, através da disposição das plantas, a construção de um muro vivo de suporte. As pequenas plantas utilizadas foram instaladas em sacos individuais para facilitar a sua extração e para que cada planta dispusesse do mesmo volume de solo. Após 26 meses foi executada uma análise destrutiva e obtidas as medições dos sistemas radiculares e dos elementos epigeus, avaliando as suas dimensões geométricas e as suas massas em termos de peso seco.

Todas as espécies testadas apresentaram uma resposta positiva ao enterramento dos caules, todas as plantas vivas produziram raízes adventícias ao longo dos caules enterrados, e novas raízes a partir do torrão inicial.

O montante de raízes produzidas, novas e adventícias, foi relevante permitindo de afirmar que as espécies testadas são adequadas ao reforço solo, não só superficialmente, mas também em profundidade. Estas espécies, aptas a serem utilizadas em projetos de engenharia natural em clima mediterrânico, foram recentemente utilizadas em Portugal (2014 e 2015) em projetos realizados nas proximidades de Lisboa.

O estudo das partes aéreas e hipogeias destas plantas leva à conclusão de que existem dependências significativas entre os seus parâmetros e os fatores que se relacionam com a “parcela de ensaio” ou com a “espécie”. Foram também detetadas correlações significativas entre os parâmetros epigeus e hipógeos.

Palavras-chave: Enraizamento adventício; estabilização de talude; engenharia natural; clima mediterrânico flora de Portugal continental.

PROGETTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA. TEST DI IDONEITÀ PER PIANTE DELLA FLORA DEL PORTOGALLO CONTINENTALE

Riassunto

La comunicazione descrive i test di radicamento avventizio di quattro specie della flora del Portogallo continentale che presentano una larga distribuzione territoriale (*Fraxinus angustifolia*, *Sambucus nigra*, *Rosmarinus officinalis*, and *Viburnum tinus*). L'obiettivo dello studio é verificare l'idoneità dei sistemi radicali delle piante di queste specie, installate con il fusto interrato, a rinforzare il terreno, al fine di applicare questi risultati a progetti di ingegneria naturalistica in ambiente mediterraneo.

Nel febbraio 2012 sono stati installati cinque campi di prove sperimentali ,in Lisbona e in Santo Tirso (distretto di Porto), con terreni di differenti caratteristiche, sistemando le piante secondo lo schema usato nella palificata viva doppia. Le piante radicate sono state inserite ognuna in un sacco, in modo da rendere più facile l'estrazione delle piante e da avere per tutte le piante lo stesso volume di terra a disposizione. Dopo 26 mesi é stata effettuata una analisi distruttiva da cui sono state ottenute le misure del sistema radicale e degli elementi epigei, in termini di dimensioni geometriche e di peso della materia secca. Tutte le specie esaminate hanno mostrato una risposta positiva all'interramento dei fusti, tutte le piante vive hanno prodotto radici avventizie lungo i fusti interrati, e nuove radici a partire dal nucleo di radici iniziale. Le rilevanti quantità di radici prodotte e i fusti interrati sono idonei a rinforzare il terreno, anche in profondità. Queste specie, adeguate per essere usate in progetti di ingegneria naturalistica in aree con clima mediterraneo sono già state utilizzate in Portogallo nel 2014 e nel 2015 in progetti eseguiti nei dintorni di Lisbona.

I parametri delle piante hanno rivelato dipendenze significative in funzione dei fattori area di saggio e specie, così come sono state rilevate significative correlazioni che legano i parametri epigei e quelli ipogei.

Parole-Chiave: Radicamento avventizio, stabilizzazione di scarpate; ingegneria naturalística; clima mediterraneo; flora del Portogallo continentale.

5.1. Introduction

Soil bioengineering (SB) is still an underused technique in Mediterranean regions. The task of the plant roots, in SB projects, is to reinforce the soil, but in this region few species of plants were tested to be used where water availability is limited. Schiechtl (1973) reports tests and projects, mainly from Central Europe, mentioning mesophilic species and their biotechnical features. Most of the subsequent studies on rooting characteristics are about species adapted to grow with no hydric stresses (Schiechtl and Stern 1992, Florineth, 2004), in opposition to what happens in Mediterranean regions (Cornellini and Sauli 2005).

Living materials for SB projects - plants transplanted or propagated by cuttings or seeds - can have severe problems with long summer aridity (Bifulco, 2001, Sauli and Cornellini 2007). In Portugal, SB has neither a large diffusion nor an effective application and most of the known species used in SB projects in Southern Europe do not belong to the Portuguese flora.

Extensive application of SB projects in the Vesuvius National Park, in Southern Italy, clearly showed how willow cuttings did not survive to the summer dryness (Bifulco, 2001). Nevertheless willow cuttings are the main living material used to implement SB project in alpine and central Europe (Schiechtl, 1992) and in North America (USDA-NRCS, 1992a, 1992b; BCMF, 2001). On the Vesuvius slopes, the problem was solved in 1999 using whole plants - instead of cuttings - placed in the ground with buried stems in subhorizontal position – like cuttings. However, in spite of successes, generating adventitious root along the stem is not a common feature for trees and shrubs, as they have to support a change in the stem anatomy (Copini *et al.*, 2015).

Used as plants rather than cuttings, *Fraxinus ornus* L., *Coronilla emerus* L., *Colutea arborescens* L., and *Ligustrum vulgare* L., gave the best results in SB projects carried out between 1999 and 2005 on Vesuvius slopes (Bifulco, 2011). Other plants species of Mediterranean region, suitable to be used in the same way, were tested by Florineth (2004) and Laranci *et al.* (2004).

The use of plants instead of cuttings had been already mentioned by Schiechtl (1973) within the “hedge layer” technique description. In the SB projects of the

Vesuvius National Park, this option was extended to all the other SB techniques, namely to “live double crib wall” and “live slope grid” (Bifulco, 2001).

In order to broaden the range of species of flora of mainland Portugal, to be used in SB projects, it was necessary to test their adventitious rooting capacity as cuttings or as plants installed with buried stems. A previous research (Bifulco and Rego, 2013) characterized a considerable collection of autochthone species with wide territory distribution. Within that collection, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., and *Viburnum tinus* L. (Fig. 5-1) resulted as the best candidates to test.

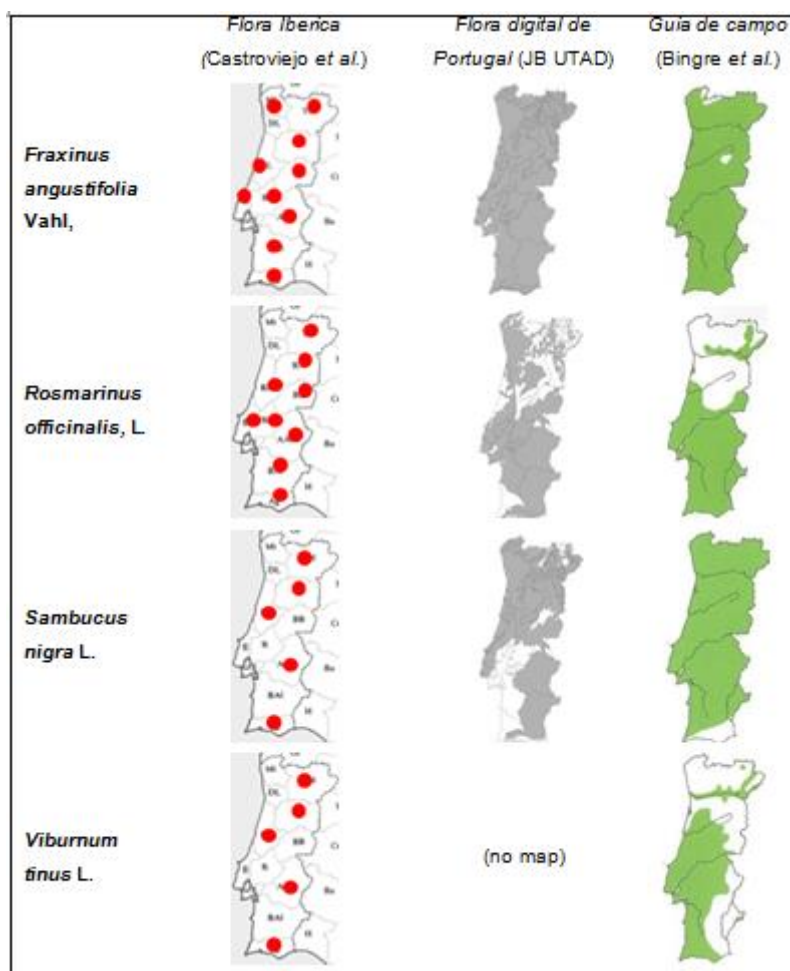


Fig. 5-1 Distribution in mainland Portugal of the studied four species

The assessment of root behaviour of the four species is fundamental for the understanding of their suitability to be used in SB projects. In the case of positive results, these four species, which can be defined euryoecious because of their wide territorial distribution, will be the best according to what Schiechl suggests to be used in SB projects (1973). This important information allows us to go further overcoming present limitations to perform SB projects due to

scarcity of suitable known species in conditions to be used on slopes far from water streams.

The present study is focused on plants buried as SB cuttings, in different soils and climate conditions, in order to recognize their characteristics on:

- adventitious rooting on buried stems;
- development of below ground parts, useful to soil consolidation;
- correlations between plant development, above and below ground;
- dependency of plant development on plots and species.

The experiment outcomes were applied at the same time in two SB projects:

- the first, a slope recovery project, on the A21 highway, Malveira's junction, implementing the "hedge layer" technique;
- the second, to recover a landslide in house backyard, in the Lisbon area, using "live double crib wall" and "live slope grid" techniques.

5.2. Materials and methods

5.2.1. Study sites and experimental setup

We chose five sites where to install the plants, in order to repeat the test in different conditions. The main different characteristic of each one was its soil origin. Experimental plots with calcareous and basaltic soils were placed in Lisbon, Tapada da Ajuda, together with a third one, in a substrate of peat and vermiculite, out of the forest nursery. The other experimental plots were located in Santo Tirso, the Great Porto area, one in granitic soil, Monte Padrão, and the last one in the courtyard of Resinorte facilities, in schist soil. Table 5-1 summarises location and soil characteristics for all the plots.

Concerning precipitation and other ecological conditions, there are major differences between sites that must be highlighted. Average precipitation (reference period 1951-1980) in Santo Tirso is 1374.2 mm (Gonçalves *et al.*, 2011), whereas in Lisbon (reference period 1971-2011) it is 725 mm (Instituto de Meteorologia, I.P., 2011).

According the bioclimatic characterization (Rivas-Martinez *et al.*, 2004a; Rivas-Martinez *et al.*, 2004b; Mesquita, 2005) the climate of the two sites is:

- Lisbon, Mediterranean xeric oceanic, thermomediterranean thermotype, inferior subhumid ombrotype;

- Santo Tirso, temperate oceanic submediterranean, mesosubmediterranean thermotype, humid inferior ombrotype.

Tab. 6-1 Location and soil characteristics of the plots

Plot	Ground type	Long	Lat	Height (m asl)	Exp.	pH	Sand %	Silt %	Clay %	Org.C g kg ⁻¹
Tapada da Ajuda 1 (Pateira)	Basaltic	9°11' 22.39" W	38°42' 59.86" N	122	SW open	7.4	37.7	25.8	36.6	17.4
Tapada da Ajuda 2 (Ceabn)	Calcareous	9°11' 22.60" W	38°42' 42.41" N	88	SW shady	7.9	65.7	18.8	15.6	28.5
Tapada da Ajuda 3 (Forest nursery)	peat and vermiculite (50%-50%)	9°11' 27.30" W	38°42' 47.02" N	100	SW partially shady	5.2	-	-	-	195.3
Santo Tirso 1 (Monte Padrão)	Granitic	8°27' 5.42" W	41°18' 41.16" N	374	W partially shady	5.1	79.7	15.8	4.6	16.4
Santo Tirso 2 (Resinorte)	Schistose	8°30' 31.20" W	41°19' 8.22" N	219	SW open	5.5	65.7	21.8	12.6	12.9

An important drought occurrence happened in the first months of 2012, when we began this experiment. This was a limiting factor that must be known.

To characterize and evaluate the drought incidence occurring during the experiment's period, some data were extracted from the "2012 Drought report" (MAMAOT, 2013) and from IPMA website (2015). Specifically, to analyse the year 2012 drought impact in the plots, Standardized Precipitation Index (SPI) was consulted. SPI (McKee *et al.*, 1993) is a probability index, developed to give a representation of abnormal wetness and dryness, and it compares precipitation with its multiyear average. It is essentially a seasonally normalized, backwards-looking moving average of precipitation. SPI overcomes the difficulty to compare sites with different climate and highly variable precipitation distributions, by transforming the precipitation distribution record into a normal distribution (Guttman, 1999).

SPI positive values indicate a wetter than typical period, i.e., accumulated precipitation greater than the average, while, negative values indicate a dryer period with less precipitation than normal. A zero value corresponds to the average accumulated precipitation. The magnitude of the departure from zero is a probabilistic severity measure of a wet or dry event. SPI time series are used for drought monitoring (Zargar *et al.*, 2011).

Concerning the plants, they were produced by Lisbon University, ISA forest nursery, in a substrate of peat and vermiculite. The following table (Tab.5-2) and figure (Fig. 5-2) describe their characteristics on installation time.

Tab. 5-2 Characteristics of the plants used in the tests.

	Pot diam and h (cm)	Plant average height (cm)	Age (years)
<i>F. angustifolia</i>	17, 30	40	<2
<i>S. nigra</i>	17, 15	15	<1
<i>R. officinalis</i>	7x7, 20 (square pot)	35	<1
<i>V. tinus</i>	17, 15	35	<1



Fig. 5-2 Plants used in the tests.

We designed the plant layout to simulate their spatial arrangement in a live crib wall. To achieve that arrangement, we put the plants inside permeable rectangular bags (50 cm x 80 cm), woven with plastic fibres, which, once filled with plant and soil, assumed a cylindrical shape. Bags with plants were positioned almost horizontally into four rows, each row with four bags, one above the other and in each horizontal line the four tested species. We filled the bags burying as more stems as possible; all the present stems were buried with their leaves on. In each plot we laid the 16 bags in excavations carried out in small slopes, or next to vertical surfaces (Fig. 5-3).



Fig. 5-3 Final stages of the five plots installation

As in a “live crib wall”, the rows of bags were placed slightly tilted upward and with a slightly sloping block face, allowing light arrival to the plants in lower

position. Finally, the block of bags was covered with a 5 cm layer of soil. Plants were irrigated, as usual in SB project, with 100 l of water. Bag installation occurred early February 2012.

5.2.2. Sampling and sample preparation

In April 2014, the bags with the plants were extracted. Each bag was opened to remove the plant stems and roots. The roots were washed in water and photos of the whole plant on a white board were taken with a digital camera (Nikon D3200). The above ground fraction was separated from buried fraction, and both stored in paper bags. Afterward, in the laboratory, buried stems with adventitious roots were separated by cutting from the initial root system. We also cut the new roots sprouting from the original root-ball. All the material was photographed and stored in paper bags. After the first series of manual measurements and root scanning, all the parts were dried at 80°C for 48 hours.

5.2.3. Measurements and analyses

For each plant we prepared three types of measurements: (i) the first manual measurements, made on the above ground part - at extraction stage - and on buried stems, before drying them; (ii) with scanner and image analysis software, made on roots and buried stems; and (iii) calculations combining main measurements to obtain ratios and aggregate dimensions.

The first manual measurements were used to determine: above ground crown height (AGH) and diameter (AGD), above ground number of stems (AGS), above ground weight (AGW), buried stem number (BSN), total length of all buried stems (BSTL), number of first order adventitious roots on the stems (ARFO), length of the longest adventitious root (ARLL), diameter at the original collar (OSD), length of the longest root sprouting from root-ball (NRLL), weight of the adventitious roots including buried stems (ARW), weight of roots in the volume of the original root-ball (ORW), weight of the new roots sprouting from the original root-ball (NRW).

A rigid meter was used to evaluate length with a 1 millimetre precision; a balance (Sartorius 16.000,0 g 1862 MPB-1) was used for weights.

We used a scanner workstation with software for image analysis (WinRhizo 2003b, Regent Instruments Inc., Quebec, Canada) from Lisbon University Forestry Department. That tool was used to determine for each plant: (i) adventitious root (AR acronym prefix) on stem, including the buried stems, and

(*iii*) new roots (NR acronym prefix) sprouting from original root-ball: root total length (ARTL and NRTL), root average diameter (ARAD and NRAD), root projected area (ARPA and NRPA), root surface area (ARSA and NRSA), root volume (ARVO and NRVO).

Some derived parameters were computed such as: adventitious first order roots rate on the buried stems (ARrate), weight ratio root/shoot, computed as sum of adventitious roots, new sprouting from root-ball roots, root-ball roots weights divided by shoots weights (R/Sratio) and its inverse (S/Rratio), weight ratio new roots/old roots, computed as sum of adventitious roots and new sprouting from root-ball roots weight, divided by root-ball roots weight (AN/Orootratio), above ground height percentage increase (AGHI), total adventitious roots and new sprouting from root-ball roots length (TANL).

Visual evaluation of adventitious root distribution along the stem (ARD) was performed; three classes were used: regular, irregular, and shallow.

In the next figure (Fig. 5-4) is displayed an example of plant breakdown structure we used to perform quantitative analysis.

Some remarks must be made on the determination of root length. Root length is difficult to measure when dealing with extensive root systems. Since most of the root length is associated with both not straight and fine roots, it is extremely difficult to have an accurate estimate of total root length from the shrubs or trees collected in the field. The main sources of errors are: (*i*) from excavation process, where considerable amounts of fine roots are inevitably lost, (*ii*) from measuring irregular shapes, and (*iii*) from the possible change in the root system structure after excavation, compared to the original root arrangement in undisturbed soil. Therefore root length was determined mainly for comparison purposes and it was strictly interpreted on a relative basis and not as absolute values (Silva, 2003).

5.2.4. Statistical analyses

The first investigation on the relationships between variables was performed by computing Pearson's correlations between all continuous variables, using data of all the 37 plants alive after the experiment. Afterwards, these data were used to perform a Principal Component Analysis (PCA). The principal components (PC's) extracted by the analysis allowed the understanding of the main

variables responsible for the variation found and their relationship with the species and plots.



Fig. 6-4 Plant breakdown structure for its quantitative analysis

The significance of the relationship between the survival of the 48 initial plants with species and plots was evaluated by a Chi-Square test. After, to understand the relationship between continuous variables with plots and species, we performed exploratory full factorial univariate Analyses of Variance (ANOVAs) for all variables. As no important interactions between species and plots were detected, univariate ANOVAs taking into account independently the two factors were performed.

5.3. Results

In whole Portugal mainland a drought occurred in the hydrological year 2011/12, beginning in December 2011 and remaining in almost all the mainland during the hydrological year, until the end of September 2012. The months of greater drought severity were February and March, with most of the country in

the highest severity drought classes, severe and extreme. From August drought attenuated its intensity, most significantly in September (MAMAOT, 2013). Figure 5-5 shows a graph of SPI3 values of the Ave river basin (where the plots of Santo Tirso are situated), and values of Lisbon (where the plots of Tapada da Ajuda are located), registered in 2012, 2013, and 2014 by IPMA (2015); in the same graph drought classes are referenced.

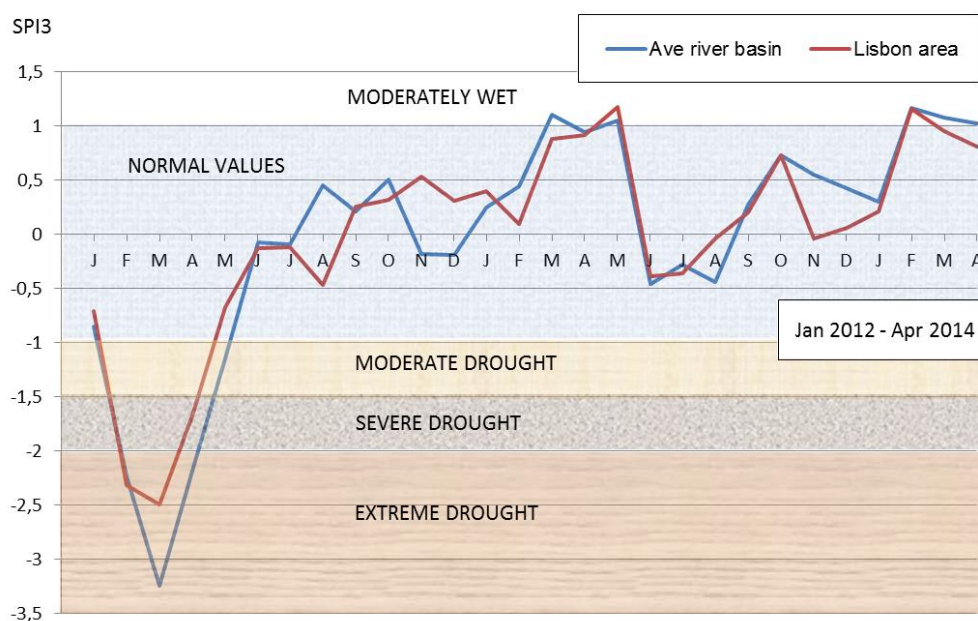


Fig. 6-5 Evolution of the Standard Precipitation Index accumulated for 3 months (SPI3) in the Ave river Basin and in Lisbon area from 2012 January to 2014 April (IPMA, 2015).

Plants of two plots in Tapada da Ajuda, that basaltic soil (TA1) and calcareous soil (TA2) died after the drought of the first year. In the third plot (TA3), where plants were installed in a substrate of peat and vermiculite, damages were limited to those on the superior row and lateral sides of the plot.

In the experimental plots of Tapada da Ajuda 3 (TA3) Forest Nursery and Santo Tirso 2 (ST2) Resinorte, the general look of living plants was very good. The plants of Santo Tirso 1 (ST1) Monte Padrão presented a smaller development (Fig. 5-6).



Fig. 6-6 General view of the plots ST2, ST1 and TA3 in April 2014 before plant extraction

Figure 5-7 summarises, for those three plots, the number of live plants before extraction, by species and by plot.

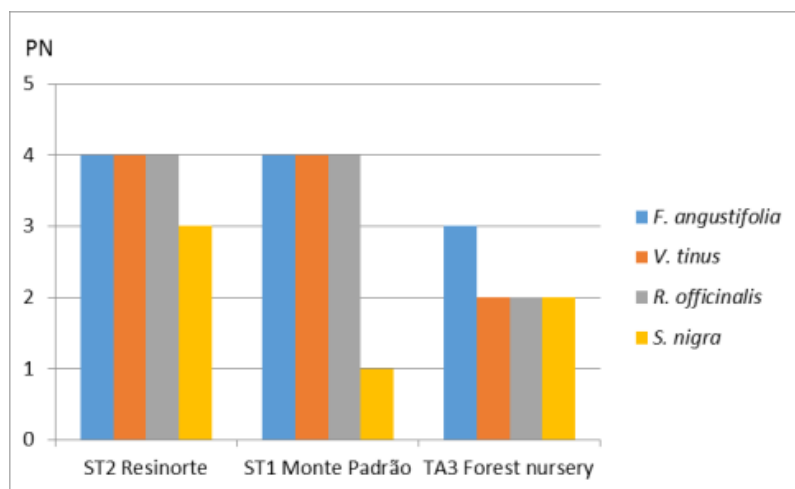


Fig. 6-7 Live plants by species and plot

Figure 5-8 displays the average values of main parameters, in order to highlight the different development of plants in different plots.

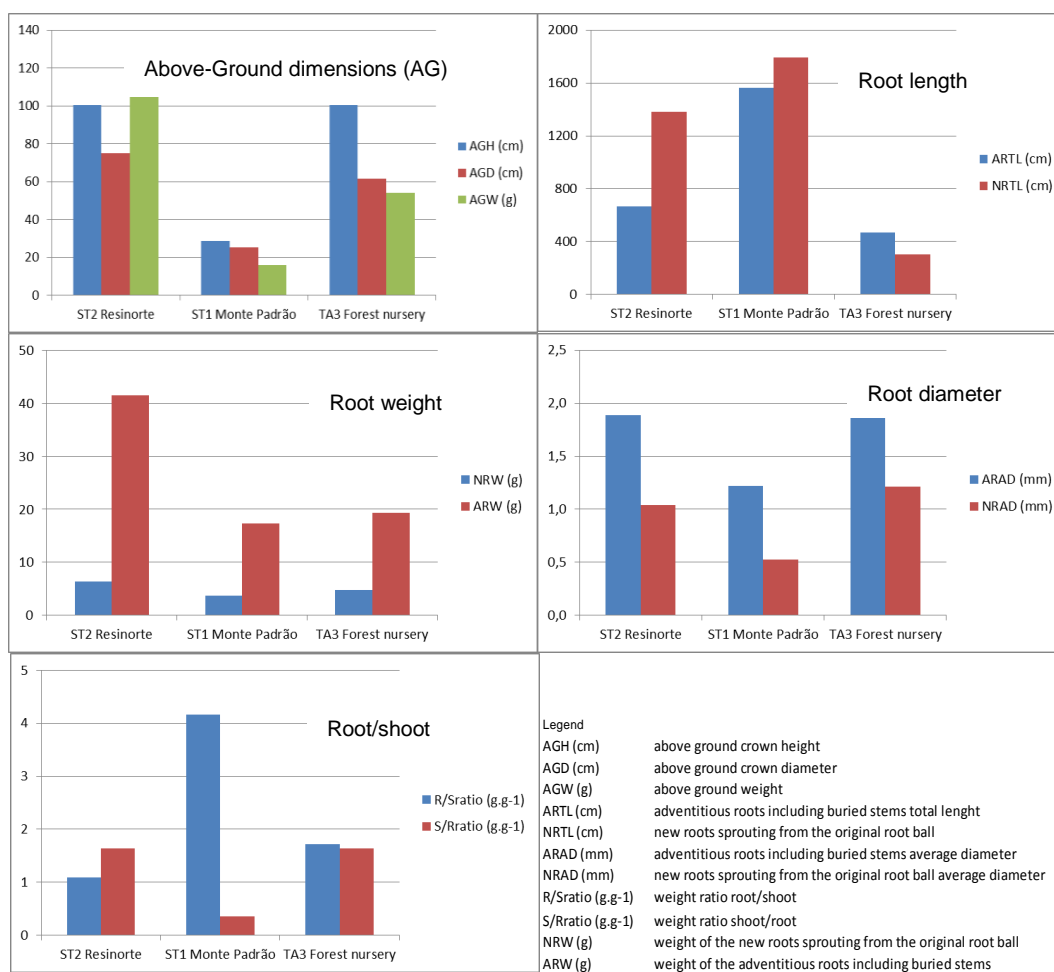


Fig. 6-8 Average values of main variables of live plants, by plot

All living plants presented adventitious roots on buried stems, and new roots sprouting from the original root-ball. No leaves were found on the buried stems.

Figure 5-9 shows the frequency of the number of buried stems, by species.

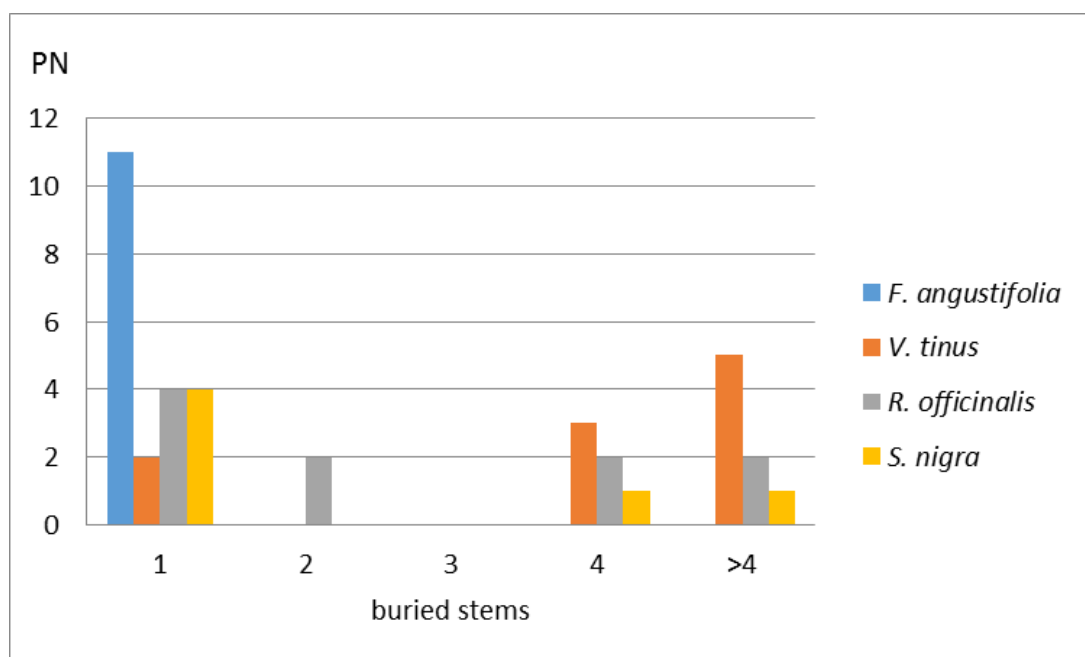


Fig. 6-9 Number of buried stems frequency (plant numbers – PN), by species

All the *F. angustifolia* plants presented a polycormic shape, even with only one buried stem.

Each plant had approximately a volume of 55 litres of soil available in the bag. In many cases the root development was such that relevant quantities of roots were found intertwined with bag plastic fibres, and in some cases, particularly for *S. nigra*, the roots went out of the bag going into adjacent bags or into the soil behind or below the installation. All roots inside the bag, even if not obviously linked to the root-ball, were extracted and associated to the new roots from the root-ball. All roots outside the bags were discarded.

The root structure of the different species showed different patterns. For *S. nigra* some first-order roots were thick, lignified, and strong and adventitious roots were also thick (the minimum adventitious root average diameter of that species is the double of the others) but widely spaced and simple, in terms of branching. Adventitious roots of *F. angustifolia*, *R. officinalis*, and *V. tinus* presented intricate root volumes.

A quantitative description of the characteristics of all plants grouped by species is presented in Table 5-3.

Tab. 6-3 Descriptive parameters (mean \pm SE) of the 37 living plants distributed by species.

Variable	Units	<i>F. angustifolia</i>	<i>V. tinus</i>	<i>R. officinalis</i>	<i>S. nigra</i>
N		11	10	10	6
<i>Above-ground</i>					
AGH	cm	68.0 \pm 14.0	77.6 \pm 16.3	80.1 \pm 15.1	79.2 \pm 24.7
AGD	cm	49.6 \pm 11.0	50.6 \pm 7.2	68.5 \pm 14.5	44.1 \pm 12.4
AGS		2.1 \pm 0.4	4.0 \pm 0.9	5.7 \pm 1.4	2.8 \pm 0.5
AGW	g	36.6 \pm 11.1	87.5 \pm 31.3	104.9 \pm 36.8	20.9 \pm 8.2
<i>Manual measurements on buried part</i>					
BSN		1 \pm 0.0	4.5 \pm 0.8	2.5 \pm 0.5	1.8 \pm 0.5
BSTL	cm	32.9 \pm 2.7	134.3 \pm 21.8	61.5 \pm 13.2	58.4 \pm 26.7
ARFO		46.8 \pm 24.3	60.9 \pm 10.9	89.5 \pm 14.0	9.2 \pm 1.3
ARLL	cm	23.0 \pm 3.0	29.6 \pm 4.1	33.8 \pm 4.2	28.3 \pm 4.9
NRLL	cm	32.5 \pm 3.7	36.2 \pm 4.5	31.3 \pm 3.3	8.8 \pm 2.3
OSD	mm	11.5 \pm 1.7	11.7 \pm 1.7	10.9 \pm 2.0	27.4 \pm 4.9
ORW	g	28.9 \pm 3.6	34.6 \pm 8.4	13.4 \pm 2.5	13.2 \pm 2.5
ARW	g	30.4 \pm 7.1	38.2 \pm 8.6	20.5 \pm 4.5	11.3 \pm 3.2
NRW	g	6.7 \pm 1.4	5.4 \pm 1.3	2.3 \pm 0.5	5.4 \pm 2.9
<i>AR versus NR</i>					
ARTL	cm	735.7 \pm 214.3	1072.2 \pm 431.5	1158.5 \pm 334.6	218.4 \pm 51.4
NRTL	cm	1156.5 \pm 253.8	1619.2 \pm 481.3	1104.5 \pm 414.2	684.9 \pm 273.9
ARAD	mm	1.7 \pm 0.4	2.4 \pm 0.5	1.0 \pm 0.1	2.3 \pm 0.2
NRAD	mm	0.8 \pm 0.1	0.9 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	1.4 \pm 0.3
ARPA	cm ²	76.8 \pm 17.6	116.9 \pm 22.3	84.8 \pm 14.9	44.0 \pm 10.4
NRPA	cm ²	83.8 \pm 17.0	99.2 \pm 24.5	58.5 \pm 26.0	65.8 \pm 22.3
ARSA	cm ²	241.3 \pm 55.4	367.3 \pm 70.1	265.1 \pm 47.1	153.5 \pm 45.1
NRSA	cm ²	263.3 \pm 53.4	311.5 \pm 77.1	183.8 \pm 81.8	206.9 \pm 70.0
ARVO	cm ³	8.2 \pm 1.6	14.9 \pm 2.0	5.9 \pm 1.1	8.4 \pm 2.1
NRVO	cm ³	5.9 \pm 1.6	5.3 \pm 1.1	3.0 \pm 1.6	6.7 \pm 3.0
<i>Computed variables</i>					
ARrate	cm ⁻¹	1.6 \pm 0.9	1.5 \pm 0.3	2.7 \pm 0.6	0.3 \pm 0.1
R/Sratio	g.g ⁻¹	3.5 \pm 0.7	1.5 \pm 0.3	1.4 \pm 0.5	2.8 \pm 1.4
S/Rratio	g.g ⁻¹	0.5 \pm 0.1	1.2 \pm 0.2	2.4 \pm 0.6	0.7 \pm 0.1
AGHI	%	353.0 \pm 93.2	417.1 \pm 108.7	417.1 \pm 109.6	428.1 \pm 164.5
TLAN	cm	1603.1 \pm 380.7	2556.5 \pm 844.1	1894.9 \pm 583.6	804.3 \pm 300.1

Legend

N number of plants; AGH above ground crown height; AGD above ground crown diameter; AGS above ground stem number; AGW above ground weight; BSN buried stem number; BSTL buried stems total length; ARFO number of first order adventitious roots on the stems; ARLL length of the longest adventitious root; OSD diameter at the original collar, NRLL length of the longest root sprouting from root ball; ARW weight of the adventitious roots including buried stems, ORW weight of roots in the volume of the original root-ball; NRW weight of the new roots sprouting from the original root-ball; AR- adventitious roots including buried stems, NR- new roots sprouting from the original root-ball; ARTL, NRTL root total length; ARAD NRAD root average diameter, ARPA NRPA root projected area, ARSA NRSA root surface area, ARVO NRVO root volume; ARrate rate of first order adventitious roots on the buried stems; R/Sratio weight ratio root/shoot, as sum of adventitious roots, new sprouting from root-ball roots, root-ball roots weights divided by shoots weights; AN/Orootratio weight ratio new roots/old roots, as sum of adventitious roots and new sprouting from root-ball roots weight, divided by root-ball roots weight; AGHI above ground height percentage increase; TLAN total length of adventitious and new sprouting from root-ball roots.

Figure 5-10 shows the estimated distribution pattern of the adventitious roots on the buried stems.

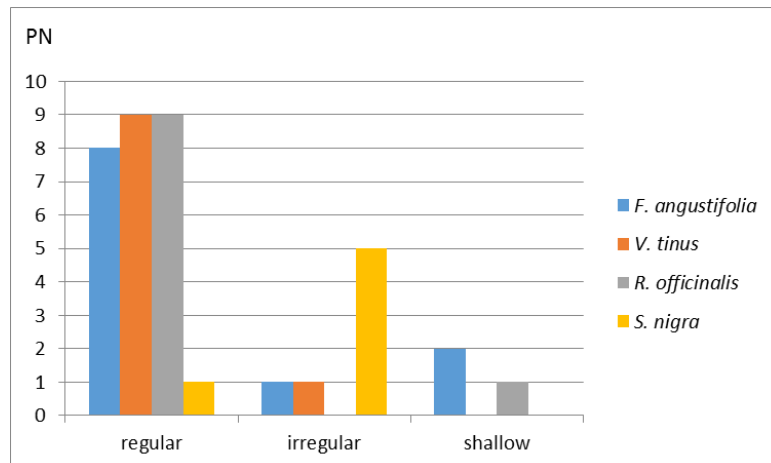


Fig. 6-10 Frequency of the distribution pattern of adventitious roots on the buried stems

Fig.5-11 summarises the significant correlation coefficients (R) among the variables, with their corresponding statistical significance.

AGD	AGS	AGW	BSN	BSTL	ARFO	ARLL	ARTL	ARPA	ARSA	ARAD	ARVO	ARW	OSD	NRLL	NRTL	NRPA	NRSA	NRAD	NRVO	NRW	ORW	ARRate	R/Sratio	S/Rratio	NA/Ororatio	AGHI	TLAN
0.737**	0.349*	0.626**									0.437**	0.558**	0.489**					0.435*		0.486**			-0.591**	0.477**	0.560**	1.000**	
	0.394*	0.715**				0.355*						0.558**	0.547**										-0.569**	0.556**	0.414**	0.734**	AGH
		0.554**	0.329*																				-0.369**	0.720**	0.468**	0.355**	AGD
						0.449**	0.309*	0.306*			0.496**	0.664**	0.434**								0.486**		-0.460**	0.711**	0.349**	0.629**	AGS
																											AGW
				0.860**																							BSN
																										0.340**	BSTL
																										0.401**	ARFO
																										0.506**	ARLL
																										0.486**	ARTL
																										0.903**	ARPA
																										0.843**	ARSA
																										0.838**	ARAD
																										-0.416**	ARVO
																										0.453**	ARW
																										0.571**	OSD
																										0.489**	NRLL
																										0.519**	NRTL
																										0.909**	NRPA
																										0.750**	NRSA
																										0.750**	NRAD
																										0.435**	NRVO
																										0.374**	NRW
																										0.507**	ORW
																										0.419**	ARRate
																											R/Sratio
																										0.492**	S/Rratio
																										0.554**	NA/Ororatio
																											AGHI

Fig. 6-11 Correlation matrix among variables showing significant correlation coefficients (R). The asterisk * indicates significant correlations at the 0.05 level; double asterisk ** indicates significant correlations at the 0.01 level. Legend of variables is the same of table 5-3.

The results of the Principal Component Analysis (PCA) showed that the two first components extracted explained 47.8% of the total variance. In the diagram on the two first axes (Fig. 5-12) it was possible to recognize associations with species and plots. This diagram summarizes what was already described in Fig. 5-8 and in Tab. 5-3. Bigger root diameters are associated with *S. nigra* and with the Forest nursery plot in TA3 (Tapada da Ajuda). Bigger above ground development was found to be associated with *R. officinalis* and *V. tinus* in Resinorte plot (Santo Tirso). In the opposite side, smaller above ground development was associated to the Monte Padrão plot (Santo Tirso). So, as a general summary of this analysis, we can detect and interpret two main axes in the PCA diagram: one, from low-left to upper-right, showing from more root to more shoot biomass, the second, from lower-right to upper-left, showing a trend from root lengths to root diameters.

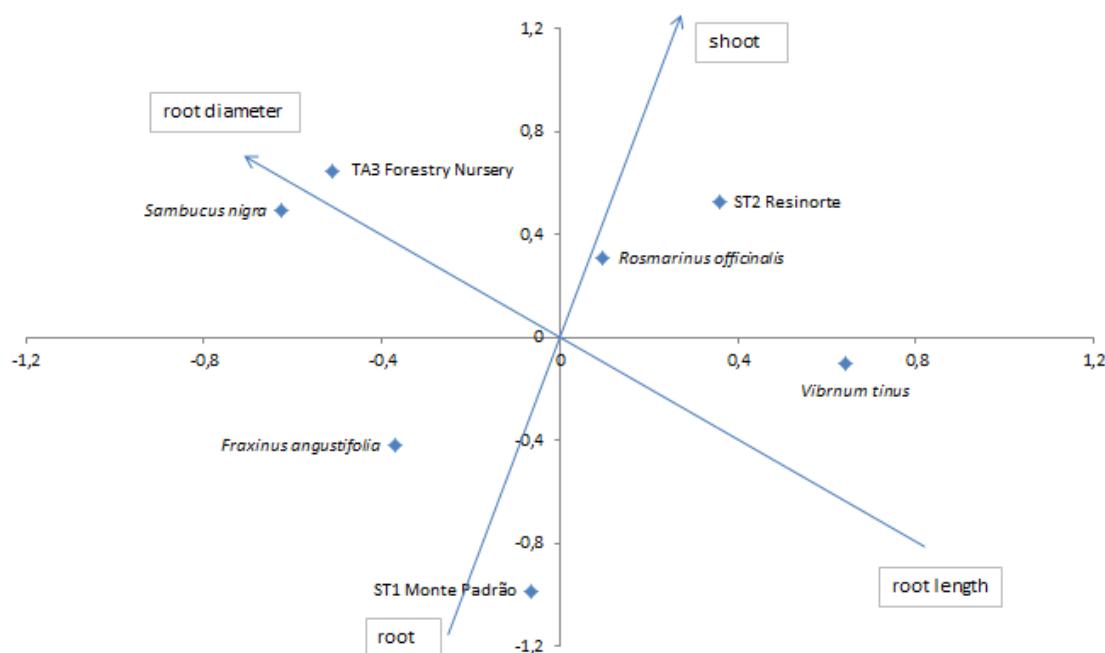


Fig. 6-12 PCA diagram for the first two axes showing the components loading for each factor (plot and species)

The interpretation of the same two axes of the PCA diagram can also be performed by the association with the original variables (Fig. 5-13). In that diagram it is possible to recognise groups of clearly associated variables, as for example height, diameter and weight of the above ground part, or associated because of their computational method, like the length of adventitious and new roots from root-ball and their sum. On the other hand, similar scores for variables of adventitious roots (AR acronym prefix) and new roots from root-ball

(NR acronym prefix), not initially expected, give interesting new perspectives for the understanding of the experiment results.

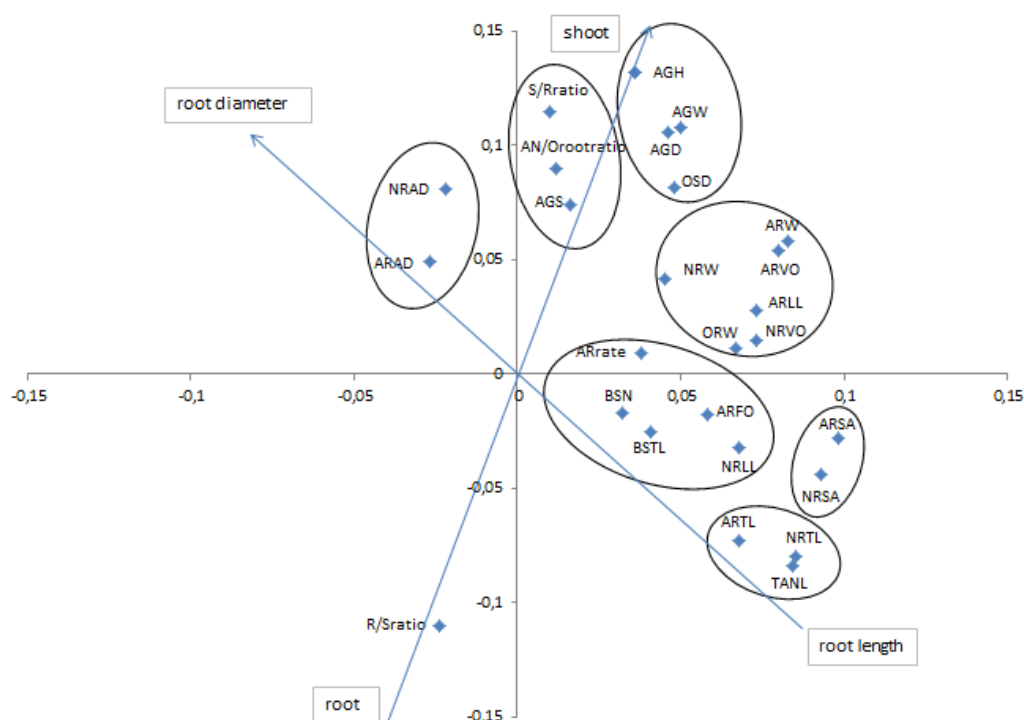


Fig. 6-13 PCA diagram showing the component scores in two first axes for all variables.
Legend is the same of Table 5-3.

A Chi-Square test using the 48 plants to detect the possible relationships of a dichotomous variable - live or dead - with “plots” and “species” showed that this relationship was only statistically significant for the plot factor ($p=0.027$), as the plot TA3 in the Forest nursery of Tapada da Ajuda showed a lower survival rate (Fig. 5-7).

From the analysis of the ANOVAs for all continuous variables of the 37 surviving plants, statistically significant relationships ($p<0.05$) were obtained for the variables displayed in table 5-4.

Tab. 6-4 Values of p for the significant effects of the factors plot and species (ANOVA)

Variable	Significant p values for	
	Plot	Species
<i>Above-ground</i>		
AGH	0,000	
AGD	0,000	
AGW	0,011	
<i>Buried stem</i>		
BSN		0,000
BSTL		0,000
<i>Adventitious root</i>		
ARAD		0,036
ARVO		0,002
ARW	0,008	

Continues on the next page

Variable	Significant p values for	
	Plot	Species
<i>New root from root-ball</i>		
NRLL	0,002	
NRTL	0,037	
NRAD	0,002	
<i>Root-ball</i>		
OSD	0,010	
ORW	0,006	0,002
<i>Computed variables</i>		
R/Sratio	0,000	0,000
S/Rratio	0,018	0,001
AGHI	0,000	

Legend

AGH above ground crown height; AGD above ground crown diameter; AGW above ground weight; BSN buried stem number; BSTL buried stems total length; ARAD adventitious roots including buried stems average diameter; ARVO adventitious roots including buried stems root volume; ARW weight of the adventitious roots including buried stems, OSD diameter at the original collar; NRLL length of the longest root sprouting from rot ball; NRTL new roots sprouting from the original root-ball total length; NRAD new roots sprouting from the original root-ball average diameter, ORW weight of roots in the volume of the original root-ball; R/Sratio weight ratio root/shoot, as sum of adventitious roots, new sprouting from root-ball roots, root-ball roots weights divided by shoots weights; S/Rratio weight ratio shoot/root, as shoots weights divided by sum of adventitious roots, new sprouting from root-ball roots, root-ball roots weights; AGHI above ground height percentage increase;

5.4. Discussion

The analysis on living plants gave significant results about quantitative measurements and correlations, giving important contributions with new information, rare to find in literature or only too influenced by local conditions (Laranci et al., 2004; Palmeri, 2009).

This analysis was possible even with the occurrence of the drought in 2012 (extreme in February and March and severe until May), when all plants in the Tapada da Ajuda TA1 Pateira and TA2 CEABN plots (with sub-basic soils) died. The mortality in the two plots of Tapada that were discarded was probably due to non-sufficient initial irrigation to overcome a so long and severe drought. The option of no more irrigation was made to approximate the usual conditions of these operations. As the annual average rainfall in Santo Tirso is almost the double than in Lisbon, the drought conditions in Santo Tirso did not have the same impacts and plants survived. In Lisbon, in the TA3 Forest nursery plot, the capacity of peat and vermiculite mixture to keep moisture, allowed the plants to survive the drought. This was obvious in the nursery as plants on the external sides of the installation suffered damages.

Adventitious roots grew on buried stems of all living plants. That occurred on the new stems (*R. officinalis* and *S. nigra*), on the stems already present in the nursery plants of *V. tinus*, *R. officinalis* and *S. nigra*, and on the single stem of *F. angustifolia* plants. All *F. angustifolia* specimens presented only one below ground stem, but multiple shoots above ground like a shrub.

It was concluded from the study that all 4 species are adequate to be used in SB projects taking into account: (i) the soil volume available for each plant, approximately 55 litres; (ii) the measured values of root total length and volume; (iii) the number of first order adventitious roots and (iv) their average diameter (Florineth 2004; Laranci *et al.*, 2004; Preti, 2006).

Chi-Square tests on plant status (dead/alive) gave significant results only for the plot factor, as expected as it is known that plant survival and growth is generally correlated with soil and climatic conditions.

ANOVA on variables shows that some plant dimensions are also significantly dependent on the plot factor: (i) crown height and height increase; (ii) above ground plant crown diameter and weight; (iii) adventitious roots weight on buried stems; (iv) collar diameter; (v) length of the longest root, and (vi) total length of roots sprouting from the root-ball, and (vii) their average diameter. These results confirm the previous speculation that the plant development depends on plot conditions.

On the other hand, the number of buried stems for each plant and their total length, the volume of adventitious roots on buried stems and their average diameter are significantly dependent on the species factor. With these results, we can speculate that the main characteristics of adventitious roots on buried stems are depending on species.

Root/shoot ratio and shoot/root ratio, computed as weights division, are significantly depending on both factors: plot and species.

A great number of significant correlations among the variables were found; among others we think it is important to highlight the correlations between:

- above ground height and weight of adventitious roots ($R=0.558$) and also weight of new roots sprouting from root-ball ($R=0.486$);
- above ground height increase percentage and weight of adventitious roots ($R=0.571$);

- total length of adventitious roots and new roots sprouting from root-ball ($R=0.656$) and also their volumes ($R=0.498$);
- volume, measured with WinRhizo, and weight, measured with a balance, of adventitious roots ($R=0.705$) and also of new roots sprouting of root-ball ($R=0.864$);
- adventitious roots and root-ball weight ($R=0.731$);
- above ground crown height and above ground crown diameter ($R=0.737$), above ground height and above ground weight ($R=0.626$), above ground weight and above ground crown diameter ($R=0.715$);
- above ground weight and root-ball weight ($R=0.486$);

These correlations allow us to speculate that, for the tested species, the above ground plant shape has dimensions depending on the local conditions, but with similar proportions; furthermore, the above ground height is correlated with adventitious roots and new roots from root-ball roots weights, and weight of adventitious and weight of new from root-ball roots are correlated too. On this basis, looking at plant above ground appearance, we can infer about their below ground conditions.

For those four species, which are adequate to be installed horizontally and with buried stems, we can conclude that the increase of their above ground parts corresponds to the development of both adventitious roots on the stem and new roots from the root-ball.

Adventitious roots frequently (73.0%) have a regular distribution along the buried stem. When irregular, as with *F. angustifolia* (18.9%), the highest density was nearby the root-ball. Only a few plants (8.1%) presented a shallow root distribution. It seems that using plants instead of cuttings, in a SB technique like the live crib wall, prevents the problems due to a shallow distribution of cutting roots, as mentioned by Guastini *et al.* (2012).

Observed data are useful for Portugal mainland, but can also be used in other regions, as the tested species also part of the flora of the western basin of Mediterranean, with *S. nigra* having a wide distribution throughout Europe. Results of this study can also support other previous studies, as in the case of *V. tinus* (Laranci *et al.*, 2004). The performed methodology can also be used as a basis to test other species of the same genus, such as for other *Fraxinus* species distributed worldwide.

This study also gave some unexpected spin-off results. Bags were used to separate the soil available for the different plants, but roots, in many cases, pierced bag plastic tissues and tied the bags together, making difficult their individual extraction. In some cases, the only chance was cutting the connecting roots between the bags or between the bag and the ground next the plot. This occurrence suggests a new plant installation technique in SB projects, needing further investigation. It is possible to use natural fibres bags (jute, hemp, coconut) with wide mesh, filled with soil and plants, as used in this research. A bag could be a project module to fill small and medium erosion rills, using it in groups, for example along river banks or temporary runoff streams. At the beginning, before root development, bags could be held in planned positions by their own weight and by iron bars nailed on the bags back, linking them to soil. This could be a *green tube bag* technique for SB projects.

5.5. Conclusions

The performed measurements allowed an analytical study of the species. The four species tested, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Sambucus nigra* L., *Rosmarinus officinalis* L., and *Viburnum tinus* L., can be used in large areas of Portugal to implement SB projects, even in normal Mediterranean climate conditions, with summer aridity and no irrigation. Extreme drought occurring at time of project implementation can affect life of transplanted plants in some soil types. In this case special cares will be needed. We can conclude that some main factors - (i) spatial distribution and density of adventitious roots along the buried stems, (ii) relevant values of adventitious roots on buried stems and further development of roots from ball-root, (iii) their density referred to soil volume available - are sufficient to show adequacy of those species to consolidate soils with their roots and their own buried stems. These four species, euryoecious and useful for SB projects, are the best choice following the advices of Schiechl (1973). Significant correlations were detected between above ground plant development with (i) adventitious roots and with (ii) new roots sprouting from the root-ball. In the experimentation we buried each plant in one bag to split the soil volume. Roots going out of the bag, connecting with other bags, suggest a new SB technique that could be named *green tube-bag*.

Acknowledgments

We thank Carla Faria (ISA) Anabela Matos (ISA) Carla Moreira (Santo Tirso Municipality) Célia Fontes (Santo Tirso Municipality) for supporting both the preparation and the development of this research.

We thank Rogério Alves (Santo Tirso Municipality), Santo Tirso Forest Workers and ISA Gardeners for giving their assistance during plot installation and plant extraction.

We are grateful to Maria Helena Almeida (ISA) for allowing the use of WinRhizo workstation of ISA Forestry department, to Francisco Abreu (ISA) for his suggestions about the analysis of rainfall in Lisbon, to Anabela Pereira (CEABN), Roberta Calvo, Alessandro Tagliabue, Filippo Rizzo, Giuseppe Conti e Giulia Trombino (University of Palermo, project 181 of Italian program “Messengers of knowledge”) for their enthusiastic support with field and lab work.

Bibliography

- Bifulco, C. (Ed.). 2001. *Interventi di ingegneria naturalistica nel parco nazionale del Vesuvio*. PNV, San Sebastiano al Vesuvio 2001, p. 201
- Bifulco, C., 2011, ‘Soil bioengineering and slopes; accessibility to the Vesuvius national park’, In *Green infrastructures for biodiversity, Abstract proceedings*, Cascais, 28-30 Setembro 2011, p. 50-52
- Bifulco, C., Rego, F., 2013. Seleção de espécies lenhosas adequadas às técnicas de engenharia natural *Silva Lusitana* 2012 Vol. 20 (1/2) p.15-38.
- Bingre, P., Aguiar, C., Espírito-Santo, D. Arsenio, P., Monteiro-Henriques, T., 2007. *Guia de campo – As árvores e os arbustos de Portugal continental*. Jornal Público/ Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Liga para a Proteção da Natureza, Lisboa, p. 462.
- British Columbia Ministry of Forests. 2001. *Best management practices handbook: Hillslope restoration in British Columbia*.
<http://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/Mr/Mr096.htm> (consulted 04/10/2012)
- Castroviejo, *et al.*, 1986. *Flora iberica*. <http://www.floraiberica.org/> (consultado em 02/02/2011)
- Copini, P., Decuypera, M., Sass-Klaassena, U., Gärtnerb, H., Mohrena, F., den Oudena J. 2015. ‘Effects of experimental stem burial on radial growth and wood anatomy of pedunculate oak’. *Dendrochronologia* 33 (2015) p. 54–60
- Cornelini, P., Sauli, G. 2005. *Manuale di indirizzo delle scelte progettuali per interventi di ingegneria naturalistica*. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio – Direzione Generale per la Difesa del Suolo – PODIS, Roma, p. 389
- Faria, C., Fabião, A., Pereira, M., Almeida, M.H., Fabião, A. 2008. *Contributo para a produção em Viveiro de plantas lenhosas ribeirinhas de qualidade*, Report do Protocolo INAG – ISA/UTAD “Valorização e Requalificação das Galerias Ribeirinhas na Área do Empreendimento de Odelouca”, https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1268/1/REP-Fabiao%2c%20A.-Faria_et_al_2008.pdf (consultado em 02-02-2011).
- Florineth, F., 2004. *Piante al posto del cemento, manuale di ingegneria naturalistica e verde tecnico*. Ed. 2007, Il verde editoriale, Milano, 280 p.

- Guastini, E., Mazzanti, L., Preti, F. 2012. 'Temporal evolution of live and woody elements in a soil bio-engineering structure', In *Soil Bioengineering and land management – new challenges. Abstract proceedings*, Cascais, 19-22 Setembro 2012, Lisboa. p. 23-24
- Gonçalves, A., Vieira, A., Leite, F., Lourenço, L. 2011. *Adaptação aos efeitos derivados das alterações climáticas – as mudanças climáticas e os incêndios florestais no Ave*. http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/20488/1/009_MUDANCAS%20CLIMATICAS%20E%20RISCO%20DE%20INCENDIO%20FLORESTAL%20NO%20AVE%20%28NOROESTE%20DE%20PORTUGAL%29.pdf (consulted 02/01/2014)
- Guttman, N.B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*. 35 (2). p.311-322.
- Instituto de Meteorologia, I.P. 2011. Boletim Climatológico Anual, Ano 2010. http://www.ipma.pt/resources/www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20110204/PdTzSQuJAvrrwvtcdtee/cli_20100101_20101231_pcl_aa_co_pt.pdf (consulted 02/01/2014)
- IPMA. 2015. Monitorização da Seca - Índice SPI – Evolução <http://www.ipma.pt/pt/oclima/observatorio.secas/spi/monitorizacao/evolucao/> (consulted 02/12/2014)
- Laranci, P., Dallari, D., Amato, M., Petrelli, M., Scarascia Mugnozza, G. 2004. 'Capacità di radicazione e proprietà biotecniche di alcuni arbusti ed alberi mediterranei (per il recupero ecologico di ambienti degradati)', *Rivista di Ingegneria Agraria* 35(2), p. 9-16
- MAMAOT. 2013, *SECA 2012 Relatório de balanço 21 de fevereiro de 2013*. Lisboa, p.132 <http://www.portugal.gov.pt/pt/os-ministerios/ministerio-da-agricultura-e-do-mar/documentos-oficiais/20130412-seca-balanco-2012.aspx> (consulted 02/01/2014)
- McKee, T.B., Doeskin, N.J., Kieist, J. 1993 The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Boston. p. 179-184.
- Mesquita, S., 2005. *Modelação Bioclimática de Portugal Continental*. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, p. 129
- Palmeri F. 2009. L'apparato radicale delle piante di ambiente submediterraneo secondo l'atlante Kutschera. In: Cornellini P, Federico C.,Pirrera G., *Arbusti autoctoni mediterranei per l'ingegneria naturalistica*, Sicilia Foreste, Palermo, p. 279-286
- Preti, F. 2006. La stabilità dei versanti vegetati. In: Sauli, G., Cornellini, P., Preti, F. (Eds.). *Ingegneria naturalistica Manuale studio versanti*, Regione Lazio, Roma. p. 137-168
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz, T.E. 2004a. *Bioclimatic Map of Europe – Thermoclimatic Belts*. Cartographic Service University of León. Spain. <http://www.globalbioclimatics.org/form/maps.htm> (consulted 02/01/2014)
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz, T.E. 2004b. *Bioclimatic Map of Europe – Bioclimates*. Cartographic Service University of León. Spain. <http://www.globalbioclimatics.org/form/maps.htm> (consulted 02/01/2014)
- Sauli, G., Cornellini, P. 2007. The application of native species of shrubs rooted and as cuttings in soil bioengineering intervention in the mediterranean areas in Italy. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 07869, 2007 <http://meetings.copernicus.org/www.cosis.net/abstracts/EGU2007/07869/EGU2007-J-07869.pdf> (consulted 02/02/2011)
- Silva, J.S., Rego, F. 2003. Root distribution of a Mediterranean shrubland in Portugal. *Plant and Soil*. 255 (2), p. 529-540
- Schiechtl, H., 1973. *Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi - metodi*. Ed. 1985 Edizioni Castaldi, Feltre, p. 263.
- Schiechtl, H., 1992. *I salici nell'uso pratico*. Ed. 1996, Edizioni Arca, Trento, p. 178.
- Schiechtl, H., Stern, R., 1992. *Ingegneria naturalistica, manuale delle opere in terra*. Edizioni Castaldi, Feltre, p. 163.
- USDA-NRCS. 1992. Chapter 18 Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction. In: *Engineering Field Handbook*.

<ftp://ftp-nhq.sc.egov.usda.gov/NHQ/pub/outgoing/jbernard/CED-Directives/efh/EFH-Ch18.pdf>
(consulted 02/02/2011)

UTAD, 2007. *Flora digital de Portugal*.
<http://jb.utad.pt/flora> (consulted 02/02/2011)

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., Khan, F.I. 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews* 19. p. 333-349.

7. CONCLUSÕES

O cerne deste trabalho reside no sistema radicular das plantas: nas suas interações com o solo e na sua capacidade de emissão de raízes adventícias. As oportunidades técnicas da Engenharia Natural fundamentam-se nestes conhecimentos, sendo de diminuta relevância o estudo da parte aérea e da aparência exterior das plantas. Este fator diferencia claramente a Engenharia Natural da Arquitetura Paisagista que, na generalidade, do que se pode observar em novos projetos de áreas verdes e em situações de análise da paisagem, têm em conta principalmente o efeito da parte aérea das plantas e a sua fruição.

Na Engenharia Natural os modelos de instalação das plantas e a importância dada ao uso de espécies arbustivas privilegiam o crescimento da biomassa radicular. Este aspeto distingue-a também da Engenharia Florestal que se concentra na produção de biomassa exterior, como o lenho do tronco das árvores. Esta última disciplina teve historicamente uma relação menos favorável com as formações arbustivas, definindo-as por vezes como incultos e encarando os arbustos como material a remover ou, na linguagem comum, a “limpar”.

A essência deste trabalho permite perceber que a Engenharia Natural, apesar de próxima de outras disciplinas, tem elementos claramente distintivos que fazem dela uma matéria à parte.

As dificuldades sentidas ao longo deste estudo, na procura de conhecimento sobre o desenvolvimento radicular de várias espécies, deixou claro que são escassos os resultados sobre a morfologia e os parâmetros das estruturas radiculares das plantas.

Face a este desconhecimento, e tendo em conta as recomendações de Schiechtl (1973) sobre o uso de espécies plásticas e euriécias em projetos de Engenharia Natural, bem como o facto de serem autóctones, realizou-se uma pesquisa bibliográfica aprofundada, na tentativa de verificar quais as espécies mais interessantes para Portugal continental. Deste estudo resultou um grupo de espécies que, por não se conhecer suficientemente o seu comportamento radicular, se tornaram *candidatas* a testes de enraizamento; destas foram selecionadas quatro que se submeteram a ensaios experimentais - *Fraxinus*

angustifolia Vahl; *Sambucus nigra* L.; *Rosmarinus officinalis* L. e *Viburnum tinus* L.. Estas espécies não são autóctones apenas no continente português, mas numa região geográfica muito mais ampla, podendo ser utilizadas no espaço mediterrânico e até europeu.

As citadas espécies, instaladas nas parcelas de ensaio, com o caule enterrado e numa posição sub-horizontal, apresentaram um desenvolvimento radicular que permite concluir da sua adequação a projetos de Engenharia Natural em situações de solo e humidade desfavoráveis, como frequentemente acontece nos taludes e encostas.

O esquema de instalação das plantas, levado a cabo nos ensaios, obedece a modelos técnicos de Engenharia Natural aplicáveis a condições das mais desfavoráveis, quando o objetivo é obter a estabilização superficial do solo e a consolidação do terreno. Este facto permite extrapolar os resultados obtidos para as técnicas mais utilizadas, a saber: grade viva e muro vivo de suporte, que configuram os mesmos fins.

A análise estatística, realizada tendo em conta as características das plantas em estudo e os fatores - local de ensaio e espécie, permitiu estabelecer diferentes correlações significativas entre as variáveis morfológicas das plantas, salientando-se a mais relevante que conclui existir uma relação de dependência entre as principais características das raízes adventícias e a espécie, ou seja, cada uma das quatro espécies analisadas contém a sua própria configuração radicular adventícia, independentemente do local. Este novo conhecimento científico torna ainda mais clara a relevância de que se reveste a escolha das espécies nos projetos de Engenharia Natural, pois, como já foi dito, as raízes das plantas são um seu elemento central.

Referências bibliográficas

Schiechtl, H., 1973. *Bioingegneria forestale – basi - materiali da costruzione vivi - metodi*. Ed. 1985 Edizioni Castaldi, Feltre, 263 pp.

ANEXO I – AÇÕES DE FORMAÇÃO E DIVULGAÇÃO SOBRE A ENGENHARIA NATURAL

<i>data</i>	<i>evento</i>	<i>localidade</i>	<i>organizadores</i>	<i>título / tipo de atividade</i>	<i>participantes</i>
22/23-06-2009	Encontro do projeto EPAL Nascente para a vida	Asseiceira Estação de Tratamento de Água	EPAL, APENA	Ordenamento das margens da albufeira de Castelo de Bode e aplicação da engenharia natural	palestra (1/2 h) 20
11-11-2009	Atividade realizada a pedido dos organizadores	Lisboa	ISA, APJSH, CEABN	Engenharia natural e a recuperação dos taludes do Mediterrâneo	aula (4 h) >100
19-11-2009	Atividade realizada a pedido dos organizadores	Oeiras	<i>Unidade de Silvicultura e Produtos Florestais</i> do L-INIA do Instituto Nacional de Recursos Biológicos, ISA-CEABN	Engenharia natural e a recuperação dos taludes	palestra (4 h) 25
23-03-2010	Atividade realizada a pedido dos organizadores	Ponte de Lima	Município de Ponte de Lima, Associação Florestal do Lima, ISA-CEABN	Engenharia Natural: uma ferramenta para a recuperação dos deslizamentos dos taludes e o controlo da erosão depois dos incêndios.	aula (6 h) 46
26-03-2010	URBAVERDE	Estoril	revista Architecturas	Engenharia natural e a recuperação dos taludes do Mediterrâneo	palestra (1 h) >100
12/13-04-2010	Semana "Abril, água a mil"	Vila Real, UTAD	UTAD, ISA-CEABN	Aplicações da Engenharia Natural em Áreas Florestais	curso breve (10 h) 16
16-04-2010	Mestrado "Recuperação de Ecossistemas Florestais"	Castelo Branco	ESABC, ISA-CEABN	Engenharia natural pela recuperação de minas e pedreiras.	aula (2 h) 6
25-06-2010	Curso intensivo "Introdução à engenharia natural"	Évora	APENA, UEvora	Intervenções de consolidação de taludes com técnicas de engenharia natural	aula (1/2 h) 30
15-02-2011	Encontro com o Diretor regional das florestas de Madeira	Lisboa - CEABN	DRIFTMIND, CEABN	Consolidação estrutural de solos, aplicação de técnicas de engenharia natural e de espécies vegetais específicas	palestra (1/2 h) 7
<i>continua na página seguinte</i>					

<i>data</i>	<i>evento</i>	<i>localidade</i>	<i>organizadores</i>	<i>título / tipo de atividade</i>	<i>participantes</i>
05-07-2011	Reunião da Rede de Cooperação GAEPC (Gestão Ativa de Espaços Protegidos e Classificados)	Caminha	CCDRN, Ponto Natura	Engenharia natural nos rios	palestra (1 h) 25
30-09-2011	Congresso Green Infrastructures for biodiversity	Estoril	Cascais Natura, APCV	Soil bioengineering and slopes; accessibility to the Vesuvius national park	palestra (1/3 h) 70
27-28/10/2011	Curso "Restauro de linhas de água com o recurso a engenharia natural":	Oeiras	Câmara de Oeiras, APENA	Introdução Histórica, Definição e Conceitos em Engenharia Natural	aula (2) h 20+20
02-11-2011	Workshop "Projetos de Florestação"	Óbidos	ALTRI FLORESTAL	Engenharia Natural no espaço florestal	palestra (1/3 h) 70
13-01-2012	Aula aberta	Castelo Branco	ESABC, ISA-CEABN	Aplicações de engenharia natural.	palestra (2 h) 30
09-03-2012	Congresso internacional Paisagem e Comunidade	Faro	revista Arquitecturas	Naturally Working in Protected Areas and Out	aula (4) 10
22-05-2012	VI Jornadas Florestais Insulares	Horta-Açores	DRFF	Engenharia natural em solos vulcânicos: casos de estudo e oportunidades	palestra (1/3 h) >100
22-09-2012	CASCAIS WORLD FORUM 2012 Soil Bioengineering and land management , new challenges	Cascais	APENA Cascais Ambiente	Raízes adventícias ao longo do caule das plantas para a consolidação dos taludes	palestra (1/3 h) >50
05-10-2012	Ingegneria naturalistica, difesa del suolo e recupero del territorio; Convegno Internazionale;	S. Agata di Militello, Messina, Italia.	Parco Naturale dei Nebrodi	Consolidating Mediterranean slopes with adventitious roots on plant's stem.	palestra (1/3 h) >200
05-04-2014	Workshop pratico: técnicas de Engenharia Natural na Quinta do Pisão	Cascais	APENA Cascais Ambiente	Organização e coordenação do workshop	exercitação pratica (5 h) 11
<i>continua na página seguinte</i>					

<i>data</i>	<i>evento</i>	<i>localidade</i>	<i>organizadores</i>	<i>título / tipo de atividade</i>	<i>participantes</i>
23-05-2014	Engenharia natural uma solução ecológica	Ourem	APENA - Câmara de Ourem	Engenharia natural em Portugal: investigações e projetos de reabilitação de taludes - organização e coordenação do workshop	palestra (1/2 h) >80
11-08-2014	99th ESA Annual Meeting OOS 5	Sacramento California- EUA	Ecological Society of America	Evolution of shrub communities in soil bioengineering projects on Vesuvius	palestra (1/3 h) >50
23-10-2014	VIII congreso AEIP BIOINGENIERÍA e INFRAESTRUCTURA VERDE: una oportunidad para la biodiversidad y el empleo.	Vitória-Gasteiz , Espanha	AEIP	a)Development of adventitious roots on stem in four species of mainland Portugal flora. b)Slope stabilization and landscape integration using soil bioengineering research results, at Malveira junction A21 highway, Portugal. c) Vegetative propagation of Ruta chalepensis L., pioneer species in stony soils and limestone	palestras (2/3 h), >100 posters
20-02-2015	Jornadas de engenharia do ambiente 2015	Lisboa	Estudantes engenharia do Ambiente IST	Restabelecer ecossistemas, a engenharia natural em Europa e em Portugal	palestra (1/4 h) >50
21-04-2015	Curso de remediação (mestrado em engenharia do ambiente)	Lisboa	ISA	Restabelecer ecossistemas, 3 casos de estudo de engenharia natural em Europa e em Portugal	aula (1,5 h) 15
05-05-2015	Workshop Engenharia Natural na recuperação dos ecossistemas	Lisboa	APENA CEABN	Intervir em taludes Mediterrânicos	palestra (1/3 h) >35
11-05-2015	XVI Semana das Ciências Agrárias do IPB	Bragança	Estudantes IPB-ESA Bragança	Restabelecer ecossistemas, 3 casos de estudo de engenharia natural em Europa e em Portugal	palestra (1,5 h) >50
25-05-2015	Curso de Planeamento Biofísico e Ordenamento do território (licenciatura em engenharia do ambiente)	Lisboa	IST	Restabelecer ecossistemas, 3 casos de estudo de engenharia natural em Europa e em Portugal	aula (1,5 h) 15

ANEXO II – PROPOSTA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS APROVADA PELO MINISTERO ITALIANO DELL'ISTRUZIONE DELLA UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA (MIUR), RISERVADO A DOCENTES E INVESTIGADORES RESIDENTES FORA DE ITÁLIA. PROGRAMA “MESSAGGERI PER LA CONOSCENZA”

Ingegneria naturalistica per la progettazione paesaggistica in aree urbane e periurbane caratterizzate da clima mediterraneo

Attività didattica: contenuti

Obiettivo generale dell'intervento didattico è l'incontro con un aspetto innovativo della ricerca sul recupero del degrado ambientale del territorio, sviluppata in Portogallo. Accompagnare questo incontro teorico e metodologico con una immediata applicazione dimostrativa vuole poi stimolare, attraverso l'esecuzione di ulteriori applicazioni, la diffusione di tecniche oggi di uso molto limitato in aree di clima mediterraneo. Il clima mediterraneo è caratterizzato da mancanza di piogge nel periodo estivo e da una vegetazione che adatta le proprie strategie di sopravvivenza proprio per superare l'estate, la stagione avversa. L'ingegneria naturalistica, che usa come materiale costruttivo le radici delle piante, alberi e arbusti, per consolidare versanti instabili e franosi, per rinverdire aree denudate e rinaturalizzare aree degradate, è stata applicata e codificata in aree caratterizzate da climi continentali o dalla prossimità di corsi d'acqua. La scarsità d'acqua, che rappresenta un problema per la propagazione e l'attecchimento delle piante, in quei contesti, non rappresenta un fattore limitante e sia schemi costruttivi sia specie vegetali appropriate sono state ampiamente sperimentate e illustrate. Al contrario la questione non è stata ancora definitivamente risolta nelle aree più soggette alla mancanza estiva di piogge o umidità. L'applicazione dell'ingegneria naturalistica in aree mediterranee, su versanti asciutti, ed in particolare nelle zone urbane e periurbane, oggi è oggetto di ricerca all'università di Lisbona, dove si stanno sperimentando i metodi per incontrare le specie mediterranee più adatte a rimpiazzare quelle riparie, montane, o centroeuropee negli schemi costruttivi di questa disciplina. L'intervento didattico proposto comprende sia lezioni sia una esercitazione pratica, in forma di cantiere scuola, dove realizzare una vera e propria opera di ingegneria naturalistica. Le lezioni distribuite su cinque giornate, ciascuna di quattro ore di lezione saranno relative ai seguenti moduli:

- concetti e possibilità dell'ingegneria naturalistica (due ore);
- caratteristiche tecniche delle piante adeguate come materiale costruttivo (due ore);
- caratteristiche climatiche mediterranee verso quelle montane e centroeuropee (una ora);
- criteri di scelta delle piante mediterranee adeguate all'ingegneria naturalistica (quattro ore);
- analogie e differenze tra le specie, utilizzazione delle specie endemiche (una ora);
- analisi delle ricerche in corso in Portogallo e possibilità del loro allargamento alle regioni dell'Italia meridionale (sei ore);
- presentazione e discussione del progetto da realizzare durante l'esercitazione pratica; misure di prevenzione degli infortuni (quattro ore).

L'esercitazione sarà svolta in una area indicata dall'università ospitante e l'opera da realizzare sarà commisurata al problema tecnico da risolvere: area da rinverdire, stabilizzare, consolidare; sarà eseguita in cinque giornate, ciascuna di cinque ore di lavoro. Con questo tempo a disposizione potrà essere realizzata una opera di una ampiezza fino a 20 metri quadrati. Durante le esercitazioni saranno discussi e illustrati gli altri materiali, detti “morti” in contrasto alle piante “vive”, che insieme a queste ultime possono contribuire alla realizzazione di un opera di ingegneria naturalistica. Per essere ammessi all'esercitazione, gli studenti dovranno raggiungere la sufficienza nella verifica dell'apprendimento durante le lezioni. Le attività didattiche saranno implementate in collaborazione con i docenti e gli esperti di ingegneria naturalistica e di progettazione del paesaggio dell'ateneo.

Attività didattica: metodi

I metodi didattici applicati nell'intervento formativo sono: espositivo, interrogativo, dimostrativo, attivo.

- Metodo espositivo, per le lezioni in aula, con il docente a esporre agli studenti i concetti fondamentali, strutturati e esposti secondo catene logiche, fino ad arrivare alla conclusione del ragionamento. Saranno usati come strumenti didattici presentazioni “power-point”. Questo rappresenta il metodo più semplice e rapido per il trasferimento delle informazioni,

ma deve essere frequentemente interrotto e oggetto di verifica per il suo carattere unidirezionale e per essere gli studenti soggetti passivi del trasferimento.

- Metodo interrogativo, per le lezioni in aula e l'esercitazione, con il docente a formulare domande per stimolare la riflessione e la memorizzazione da parte degli studenti. Gli studenti saranno portati a comunicare le loro conoscenze ed esperienze, al docente e agli altri studenti realizzando una interazione, guidata comunque dal docente.
- Metodo dimostrativo, per l'esercitazione, con il docente a spiegare, mostrare, dimostrare e illustrare, eseguendo contemporaneamente alla spiegazione, e gli studenti a emulare e sperimentare l'azione prodotta dal docente.
- Metodo attivo, per le lezioni in aula, con gli studenti agenti autonomi e in collaborazione tra loro in gruppi, per incontrare una propria soluzione, per esempio attraverso la consultazione di testi o di banche dati, o attraverso la discussione di un caso di studio. Il docente in questo metodo assume un ruolo di facilitatore e moderatore, lasciando agli studenti l'iniziativa, anche nelle interazioni tra loro.

In particolare il metodo dimostrativo sarà applicato, in ogni passo dell'esercitazione pratica; durante l'esercitazione sarà usato anche il metodo interrogativo per verificare la memorizzazione dei concetti appresi nelle lezioni. I tre metodi: espositivo, interrogativo e attivo saranno utilizzati durante le lezioni e durante la discussione dei materiali "morti" nel modulo di esercitazione. In particolare saranno usati per i seguenti moduli:

- concetti e possibilità dell'ingegneria naturalistica : metodo interrogativo e espositivo;
- caratteristiche tecniche delle piante adeguate come materiale costruttivo; metodo interrogativo e espositivo;
- caratteristiche climatiche montane e centroeuropee verso quelle mediterranee: metodo espositivo;
- criteri di scelta delle piante mediterranee adeguate all'ingegneria naturalistica: metodo interrogativo, espositivo e attivo (consultazione di testi e banche dati);
- analogie e differenze tra le specie, utilizzazione delle specie endemiche: metodo espositivo;
- analisi delle ricerche in corso in Portogallo e possibilità del loro allargamento alle regioni dell'Italia meridionale : metodo interrogativo, espositivo e attivo (caso di studio);
- presentazione e discussione del progetto da realizzare durante l'esercitazione pratica; misure di prevenzione degli infortuni : metodo interrogativo, espositivo e attivo (del caso di studio);
- illustrazione e discussione dei materiali "morti": metodo interrogativo.

L'integrazione delle lezioni con una esercitazione, finalizzata a lasciare una opera realizzata che potrà testimoniare il loro interesse e il loro apprendimento, è per gli studenti uno stimolo eccezionale, che li avvicina alle problematiche reali del lavoro, quali ad esempio la prevenzione degli infortuni sul lavoro, e che dimostra come lo studio e la ricerca anche solo bibliografica ha immediati risvolti pratici.

La supervisione degli studenti sarà operata con l'ausilio di checklist comportamentali.

Periodo di svolgimento:

Da: 14/10/2013 a: 13/12/2013

Attività didattica:

Numero ore di lezione: 20

Numero ore di laboratorio/esercitazione: 25

Attività pratiche:

Gli studenti si eserciteranno in gruppo sulle seguenti attività:

- Individuazione di piante mediterranee della propria regione adeguate all'ingegneria naturalistica (consultazione di testi e banche dati).
- Impostazione di una ricerca sulle specie mediterranee della propria regione adeguate all'ingegneria naturalistica (caso di studio).
- Scelta della tecnica da applicare per il progetto da attuare nella esercitazione (caso di studio).
- Realizzazione di un'opera di ingegneria naturalistica in area urbana o periurbana (esercitazione pratica).

Per la realizzazione di queste attività dovranno essere disponibili collegamenti internet e saranno indicati dal docente testi e banche dati disponibili su internet.

L'esercitazione sarà svolta in una area indicata dall'università ospitante e l'opera da realizzare sarà commisurata al problema tecnico da risolvere: area da rinverdire, stabilizzare, consolidare;

sarà eseguita in cinque giornate, ciascuna di cinque ore di lavoro. Con questo tempo a disposizione potrà essere realizzata una opera di una ampiezza fino a 20 metri quadrati. Durante l'esercitazione saranno eseguite verifiche morfometriche su campioni delle specie da utilizzare e stimata la valutazione di indici sintetici di stabilità e solidità.

Per l'esercitazione l'università ospitante, con i fondi del progetto, provvederà all'acquisizione di materiali, attrezzature e all'assicurazione contro gli infortuni degli studenti e del docente.

Le attività pratiche saranno effettuate con la collaborazione della sezione regionale dell'AIPIN (Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica) che ha già manifestato il suo interesse.

Attività di valutazione:

Una valutazione iniziale degli studenti sarà effettuata con una intervista con checklist per il controllo comportamentale e informativo delle risposte ottenute.

L'attività di verifica dell'apprendimento degli studenti sarà effettuato attraverso test di verifica ad ogni fine giornata di lezione, con 10 domande a risposta chiusa, a scelta multipla, da eseguire in 15 minuti. Ogni risposta esatta varrà un punto positivo, ogni risposta errata varrà 1/2 punto negativo. Alla fine delle lezioni il punteggio massimo ottenibile dai test sarà 50. All'esercitazione saranno ammessi gli studenti con un risultato minimo di 30 punti.

Durante l'esercitazione sarà in uso una checklist per il controllo dell'operatività degli studenti che permetterà di misurare l'apprendimento degli studenti durante questa fase.

L'intervento didattico sarà sottoposto alla valutazione degli studenti attraverso uno specifico questionario.

Modalità e criteri di selezione:

Durante tutto l'intervento didattico sarà in uso una checklist comportamentale che insieme al risultato dei test e della checklist già usata durante l'esercitazione permetterà di misurare la motivazione personale, la capacità di cooperare e l'apprendimento degli studenti. La media pesata dei risultati di questi tre elementi - test, checklist operatività durante l'esercitazione, checklist comportamentale durante tutto l'intervento didattico - permetterà di individuare gli studenti che trascorreranno il periodo di studio all'estero.

Il numero di studenti previsto per lo studio all'estero, e precisamente presso il Centro di Ecologia Applicata Prof. Baeta Neves dell'Istituto Superiore di Agronomia dell'Università Tecnica di Lisbona, sarà di 3.

Attività all'estero:

Durante il periodo di permanenza presso il Centro di Ecologia Applicata Prof. Baeta Neves dell'Istituto Superiore di Agronomia dell'Università Tecnica di Lisbona, gli studenti italiani saranno coinvolti e impegnati direttamente nelle attività di ricerca del CEABN in corso sull'ingegneria naturalistica condotte attraverso lo sviluppo di dottorati e maestrati. In particolare sono in programma per quel periodo test delle caratteristiche di riproduzione vegetativa di specie mediterranee e test sull'emissione di radici avventizie lungo il fusto interrato di specie arboree e arbustive. Gli studenti effettueranno inoltre il monitoraggio delle opere di ingegneria naturalistica realizzate a partire dal 2009 presso nel parco della "Tapada da Ajuda" dove ha sede l'ISA, e nella riserva naturale della "Quinta do Pisão" gestita dall'agenzia ambientale "CASCAIS NATURA".

Il referente delle attività in Portogallo sarà il docente proponente questo intervento didattico. Nel periodo già citato sarà attiva una collaborazione del CEABN con l'ente portoghese che gestisce le strade nazionali e alcune autostrade, "ESTRADAS DE PORTUGAL", per la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica sulle scarpate di alcuni svincoli autostradali e gli studenti potranno partecipare anche a queste attività in cui la ricerca applicata trova immediata applicazione in ambito imprenditoriale.

Il CEABN ospita una rilevante biblioteca e oltre trenta ricercatori impegnati, oltre che nell'attività istituzionale, anche in numerosi progetti di cooperazione internazionale, tra i quali si ricordano i recenti FIRE PARADOX (FP6), MATRIX (FP7) e DROUGHT (FP7), e numerosi altri progetti di ricerca su: biodiversità nei sistemi agricoli e forestali, gestione della vita selvatica, gestione e ecologia degli incendi forestali, progettazione ambientale e architettura paesaggista, educazione ambientale e disseminazione della conoscenza, consultabili alla pagina web <http://www.isa.utl.pt/ceabn/categoryprojs/2/50/projects-inicial>.

Tra i componenti del CEABN ci sono i titolari delle cattedre dell'Istituto Superiore di Agronomia di Lisbona di "Ecologia del paesaggio applicata", "Vegetazione applicata all'architettura paesaggista", "Vegetazione degli spazi urbani"; questi, e altri corsi istituzionali dell'Istituto Superiore di Agronomia, potranno essere frequentati durante il periodo di permanenza in Portogallo, coincidente con il secondo semestre dell'anno.

Il CEABN è abitualmente frequentato da professori e ricercatori stranieri. Attraverso l'ISA il CEABN ha promosso e partecipa attualmente al consorzio MEDFOR –ERASMUS MUNDUS MSc. L'ambiente del CEABN è un ambiente molto informale dove lo spirito cooperativo permette un intenso scambio quotidiano di esperienze scientifiche e di crescita personale.

Periodo attività all'estero

Da: 01/03/2014 a: 30/06/2014

Durata della permanenza all'estero: 4 mesi

Diffusione dell'esperienza: Una specifica e sistematica attività di test delle specie vegetali adeguate all'ingegneria naturalistica nelle regioni dell'Italia meridionale non è stata ancora effettuata. Esistono delle liste di specie adatte già testate, ma adatte a aree molto prossime ai corsi di acqua, che rappresentano un numero limitato di specie; sarebbe importante sia dal punto di vista scientifico sia da quello della applicazione tecnica un più ampio ventaglio di possibili scelte esteso ad ambiti climatici più asciutti. È per questo che l'attività di ricerca menzionata ha ampie possibilità di essere replicata, riutilizzando e eventualmente evolvendo, l'impianto metodologico di quanto sviluppato in Portogallo. Le ricerche potrebbero essere orientate in loco dai docenti dell'ateneo e dagli esperti dell'AIPIN già coinvolti nella pianificazione e implementazione delle attività di questo intervento didattico. Le ricerche potrebbero avere come mecenate e come utilizzatore privilegiato le società di costruzione e gestione di strade e autostrade, che attualmente utilizzano nei capitolati di appalti elenchi standard di specie da utilizzare uguali per tutta l'Italia, incuranti delle differenze climatiche e botaniche tra le sue regioni.

A livello più locale l'opera realizzata dagli studenti nel corso dell'esercitazione, grazie ai fondi di progetto potrà essere replicata in almeno altre tre occasioni didattiche, una a cura di ciascun studente; il congiunto delle opere così realizzato potrà essere lo stimolo per la curiosità di altre entità di gestione del territorio e del paesaggio per conoscere e comprendere l'applicazione di queste tecniche, che ormai sono patrimonio del senso comune nei paesi dell'Europa centrale, ma risultano ancora neglette e poco applicate nel Mezzogiorno d'Italia.

ANEXO III – EXCERTOS DO PROJETO DE ENGENHARIA NATURAL DO TALUDE DE ESCAVAÇÃO LOCALIZADO NO RAMO DE SAÍDA DO NÓ DA MALVEIRA DA A21

EXCERTOS DA MEMÓRIA GERAL

PROJETO DE INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA

A21, NÓ DA MALVEIRA, ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE DE ESCAVAÇÃO

Introdução

Esta memória enquadra-se na colaboração do Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves (CEABN), do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, com ESTRADAS DE PORTUGAL (EP), pela definição de técnicas de engenharia natural à aplicar para a estabilização de talude de escavação do Ramo A+B e parte do Ramo C do Nó da Malveira, da A21.

Neste documento, e nas peças desenhadas anexas, são apresentadas as soluções de engenharia natural, desenvolvidas pela equipa de trabalho do CEABN - composta para o Engenheiro Carlo Bifulco e o Arquiteto Paisagista Francisco Correia, com a supervisão do Professor Francisco Rego - que integram o projeto de requalificação ambiental e estrutural do referido talude, e representa o resultado das hipóteses de projeto.

Os objetivos das intervenções

As intervenções planeadas integram-se num projeto de reperfilamento dos atuais panos do talude, nos quais estão presentes, para além de erosões superficiais, às vezes atingindo profundidades de até meio metro, dois desmoronamentos no pano superior, dos quais material terroso e rochoso, os quais induzem instabilizações de materiais para as zonas subjacentes, pondo em risco a circulação dos utentes da via.

As atuais condições do local, sem revestimento vegetal e num avançado processo de erosão, testemunham como depois da escavação e modelação do talude, não se afirmou uma colonização espontânea de plantas que estabilizassem e protegessem as superfícies, demonstrando o quanto as intervenções de requalificação ambiental planeadas são necessárias, mesmo planeando um novo reperfilamento dos panos do talude.

De facto a vegetação arbustiva muito rara que se estabeleceu em algumas áreas não declivosas, não evitou fenómenos de profunda erosão superficial nas mesmas áreas, assim como nas zonas onde aflora rocha de arenito compacta na qual não é possível as plantas enraizar neste tipo de maciço.

Nas fotos seguintes são apresentados alguns aspetos do estado atual do talude (Julho 2012 e Janeiro 2013, Foto C. Bifulco).





Depois do reperfilamento dos panos do talude, com as intervenções planeadas, pretende-se:

- (i) estabilizar as superfícies com os sistemas radiculares das plantas arbustivas;
- (ii) proteger as superfícies da erosão provocada pela escorrência das águas superficiais, com a implementação dum revestimento de plantas;
- (iii) controlar a força erosiva dos fluxos de água superficiais que se concentram por causa da morfologia do local, e que tem que ser afastados sem causar danos às superfícies e aos taludes;
- (iv) consolidar o plano de fundação das estruturas (retenção e drenagem) a construir através das raízes de estacas vivas e plantas a plantar.

- (v) eliminar o impacto visual do terreno nu dos taludes e dos gabiões, deixando à vista uma encosta, verde, de herbáceas, arbustos e árvores de porte pequeno, que cercarão algumas ilhas de rocha compacta;

As intervenções planeadas

Tendo em consideração o contexto ecológico onde se insere o talude em apreço, foram previstos diferentes tipos de intervenções, consoante as condições específicas de cada área do local.

Assim, nas descrições das técnicas de cada intervenção, pormenorizadas seguidamente, são referidas as opções consideradas como as mais adequadas. Estas técnicas são consubstanciadas pelo sucesso verificado em intervenções idênticas, que se encontram referenciadas na bibliografia reportada no final, ou por experiência direta.

Na tabela seguinte apresenta-se uma sinopse das intervenções e das áreas, do local de projeto, para as quais são planeadas.

ÁREA	INTERVENÇÕES
Panos de talude de argila os mais íngremes	FAIXAS DE VEGETAÇÃO
Panos de talude de areias aglomeradas e os de argila, os menos íngremes, ao lado da descida de talude em degraus	SEMENTEIRA COM ESTEIRA DE PALHA HIDROSSEMENTEIRA
Panos de talude de argila que confinam com a rocha compacta de arenito. Intervenção, na argila com uma largura mínima de 1 m	HIDROSSEMENTEIRA SOBRE GEOGRELHA TRIDIMENSIONAL COM DRENAGEM SUBTERRANEA
Superfícies entre a vedação (limite de propriedade) e a vala de crista, e em todas as áreas pouco íngremes (< 25°)	PLANTAÇÃO DE ARBUSTOS SEMENTEIRA COM COBERTURA DE PROTEÇÃO DE PALHA
Banquetas ao pé dos panos de talude superiores	BANQUETA VIVA (inclui uma sementeira com cobertura de proteção de palha)
Revestimento das linhas d'água temporárias; revestimento da linha d'água da bacia antes da descida de talude em degraus; bacia de dissipação em enrocamento	COLCHÕES VIVOS
Vala de crista; à jusante dos degraus em pedra e madeira	VALETA VIVA
Bacia a montante da descida de talude em degraus	ESCOVA VIVA
Descida de talude em degraus	GABIOES VIVOS
Zona escavada pelas águas na área ao lado do limite sul da vedação	DEGRAU EM PEDRAS E MADEIRA

As soluções que se apresentam integram-se na visão estratégica de EP, em torno das problemáticas do local de intervenção, que planeia o reperfilamento da encosta, com a realização de dois novos panos de talude, deixando inalterado o pano inferior.

Entre as outras a “banqueta viva” é uma intervenção que especificamente integra-se nesta visão e nos objetivos de EP, assegurando de um lado a impermeabilização da superfície da banquetta, do outro, planeando a implementação para cima da impermeabilização um revestimento vegetal, sobre uma camada de terreno, que ainda assim seja transitável.

Época e ordem de sucessão dos trabalhos

Trabalhar com estacas vivas e com sementeiras impõe um vínculo temporal, para a execução dos trabalhos, sobretudo em locais caracterizados pelo clima mediterrânico, que neste caso coincide com o período entre os meses de Outubro (a segunda metade), Novembro, Dezembro, Janeiro, e Fevereiro. O que permite também esperar que nos meses de Março e Abril as chuvas de primavera possam regar as plantas. No caso de que na primavera, por um período prolongado, não aconteçam chuvas têm que ser executadas regas de “socorro”.

A organização dos trabalhos, e nomeadamente o ordem das suas precedências e sucessões, também tem importância para não infligir danos ou incómodos a trabalhos já feitos. Neste sentido propõe-se esta ordem de sucessão das intervenções a executar.

1. GABIÕES VIVOS E COLCHÕES VIVOS (na descida de talude em degraus)
2. FAIXAS DE VEGETAÇÃO (no talude inferior)
3. HIDROSSEMENTEIRA SOBRE GEOGRELHA TRIDIMENSIONAL
4. HIDROSSEMENTEIRA
5. SEMENTEIRA COM ESTEIRA DE PALHA
6. VALETA VIVA (vala de crista)
7. PLANTAÇÃO DE ARBUSTOS (superfícies entre vedação e vala de crista e em todas as áreas pouco íngremes, $< 25^\circ$)
8. SEMENTEIRA COM COBERTURA DE PROTEÇÃO DE PALHA (superfícies entre vedação e vala de crista e em todas as áreas pouco íngremes $< 25^\circ$)
9. BANQUETA VIVA (com sementeira com cobertura de proteção de palha)

Aos trabalhos nesta ordem, podem seguir-se estas outras intervenções. No entanto, se se quiser diminuir o tempo necessário por completar todos os trabalhos, estes trabalhos podem ser efetuados também em paralelo com os da lista precedente.

1. DEGRAUS EM PEDRAS E MADEIRA
2. VALETAS VIVAS (entre os degraus)
3. COLCHÕES VIVOS (revestimento das linhas d'aguas temporárias)
4. COLCHÕES VIVOS (bacia de dissipação em enrocamento)
5. COLCHÕES VIVOS (revestimento da linha d'agua da bacia ante da descida)
6. ESCOVAS VIVAS.

Rega de socorro e cuidados a ter com as estacas

Mesmo executando os trabalhos na época teoricamente mais adequada podem ocorrer períodos prolongados de falta de chuva, como no período de Janeiro à Maio de 2012. Uma seca prolongada, depois da instalação das estacas e das plantas, pode inviabilizar o êxito das intervenções. Para evitar a falha do projeto, depois da conclusão dos trabalhos, se não chover nas 3 semanas seguintes, será efetuada uma rega de socorro, que terá como foco principal as estacas e plantas, no entanto que as sementes poderão ficar sem água, para germinar quando a chuva acontecer. As regas de socorro serão repetidas a cada 15 dias, no caso da situação de seca se prolongar, ou no caso de 1 mês sem chuva. No caso de temperaturas diárias médias, num intervalo de 5 dias, acima da média sazonal, de acordo com a direção dos trabalhos a frequência das regas de socorro poderá ser aumentada.

Trabalhar com estacas vivas, para além das questões relativas à época do trabalho, precisa de cuidados particulares. As estacas poderão ser fornecidas através de corte a efetuar em árvores e plantas mães, de acordo com os donos delas, ou adquiridas por fornecedores especializados. Neste segundo caso as estacas deverão ser acompanhadas de certificação de espécie e certificado fitossanitário. No caso de cortes efetuados diretamente, os instrumentos de corte deverão ser desinfetados pelo menos duas vezes por dia e os cortes deverão ser realizados numa única direção, oblíqua em relação ao eixo da estaca. Quer na recolha das estacas quer no seu transporte e armazenamento as estacas têm que ficar num ambiente húmido, normalmente envolvidas em panos molhados com água, e têm que ficar ao abrigo da luz direta e do calor. Se as estacas forem utilizadas dentro de três dias podem ser enterradas, em molhos, em 2/3 do seu comprimento, em sombra. Para períodos maiores, é preferível o armazenamento em locais com temperatura fresca, como por exemplo um local subterrâneo ventilado ou um frigorífico para flores. No caso de as estacas não serem implantadas num

curto prazo, tem que se assegurar a humidade no local, por exemplo, molhando os panos que envolvem as estacas.

Técnicas de intervenção

Hidrossementeira

Âmbito de Aplicação

Panos de talude de argila com declive $<40^\circ$, caracterizadas pela ausência ou falta de húmus, de média ou vasta extensão.

O objetivo duma hidrossementeira é o estabelecimento duma cobertura de plantas herbáceas numa superfície desprovida de húmus, e pode ser de complemento a outras técnicas de estabilização ou consolidação de vertentes.

Esta técnica é a evolução das precedentes técnicas de revestimento com cobertura de proteção, e permite uma rápida aplicação dos materiais às superfícies, facto que motiva a sua utilização para áreas mais extensas. O uso de fixadores permite uma boa performance desta técnica em áreas com declive até 40° . Para a execução desta técnica é necessário equipamento montado sobre veículo e as áreas a tratar devem ser acessíveis a este tipo de meios.

O nó de Malveira apresenta extensão e acessibilidade úteis para desfrutar significativamente das características desta técnica. A hidrossementeira representa uma das técnicas de engenharia natural mais aplicadas com êxito.

Procedimento de execução.

Regularização superficial do talude, incluindo a remoção de blocos rochosos de diversas dimensões.

Posteriormente procede-se à projeção com meios mecânicos, por meio de uma “hidrossemeador” (hidroseeder) equipado no tanque, com uma mistura hídrica de sementes, fixadores, fertilizantes e água com o objetivo de implementar um revestimento de superfícies com plantas.

É necessário mexer a mistura para evitar a sedimentação das sementes e dos outros componentes no tanque do hidrossemeador.

A mistura assim constituída é espalhada sobre a superfície por meio de uma mangueira conectada à uma bomba com pressão adequada para projetar a mistura e não danificar a semente. Também o bocal da mangueira deverá ser adequado à dimensão das sementes para não as danificar.

Espalhamento da mistura numa camada de espessura de 1 cm.

A hidrossementeira será realizada em duas aplicações, de acordo com as especificações do projeto, mas compreendidas num intervalo que mediará entre as 4 e as 6 semanas, conforme as chuvas ocorridas.

Materiais a utilizar.

- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Fixadores
Orgânicos a base de guar ou algas (tipo Gtack-Filocalia, Fulltack-Fullservice, Vegecol-Euroseeding).
- Protetores
Palha curta, feno, turfa, ou celulose
- Corretivos (bioestimulantes, aditivos, adubos, etc.)
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais); Bioestimulantes tipo Biohum ou à base de algas (tipo Pronto-Atlanlusi ou Vegeplaine-Euroseeding); corretivos e aditivos biológicos do solo (tipo Agri2-Atlanlusi ou Vegemax-Euroseeding)

- Outro
Água para a hidrossementeira.

O pano inferior do talude será também alvo de implementação de faixas de vegetação, Neste caso a hidrossementeira será aplicada depois da realização das faixas de vegetação.

Neste pano de talude, e também nos panos superiores, no caso da interface entre rocha arenítica compacta e componente argilosa, a hidrossementeira será reforçada com geogrelha tridimensional como apresentado na descrição específica.

Pormenores.

Estes trabalhos, para tudo o que não é especificado nos parágrafos anteriores, têm enquadramento nas rubricas gerais do Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO), Capítulo 4, Integração paisagística e Medidas Minimizadoras.

Hidrossementeira sobre geogrelha tridimensional com e sem drenagem subterrânea (Tipo 1 e Tipo 2)

Âmbito de Aplicação

Proteção da erosão superficial de zonas onde afloram nos panos de talude argilas com declive $<40^\circ$, onde se apresenta o contacto da componente argilosa com rocha arenítica compacta. Este trabalho inclui a drenagem das águas de escorrência subterrânea, sendo a intervenção limitada à superfície da componente argilosa e por uma largura mínima de 1 m.

O objetivo desta hidrossementeira reforçada com dreno e geogrelha é evitar a formação de uma descontinuidade em degraus entre a rocha arenítica e a componente argilosa mais erodível. O objetivo é também intercepar os fluxos subterrâneos que se apresentam nas superfícies de interface entre os dois tipos de solo. Esta é uma combinação de opções já existentes na engenharia natural por uma situação específica do Nó de Malveira. As superfícies de talude em rocha arenítica não serão tratadas, para além dos trabalhos de terraplenagem e de regularização das superfícies gerais.

Procedimento de execução.

Onde se encontram as camadas de rocha arenítica e a componente argilosa, o aspeto atual do talude apresenta uma escavação, debaixo da camada de rocha mais dura e compacta, devida à erosão mais profunda do que o resto do perfil do mesmo talude.

No pano inferior, sujeito só a uma regularização, debaixo da camada de rocha arenítica será enterrado, na argila, num sulco preparado para este fim, ou no espaço do volume erodido, se este continuar presente, um tubo de drenagem fixado com grampos, que depois será recoberto com o terreno resultante das escavações até obter um perfil sem descontinuidade. Estes trabalhos deverão ser realizados de modo a que sejam minimizadas as interferências na estabilidade das camadas de rocha mais dura, devendo ser conservada a sua integridade.

Nesta superfície do talude assim resultante, a jusante da camada de rocha arenítica, será instalada a geogrelha tridimensional, fixada com ferros em "L" com um diâmetro de ferro de 8 mm, dobras de 10 cm e um comprimento de 30 cm. O tubo de drenagem tem que ser enterrado e dirigido até sair na base do talude ao lado da valeta de recolha das águas, para onde são coletadas as águas drenadas. Sobre a geogrelha tridimensional, preenchida de terreno fino, proveniente do local de intervenção ou de outro local onde se efetua a hidrossementeira, segundo o procedimento descrito no item anterior. A esta intervenção dá-se o nome de hidrossementeira sobre geogrelha tipo 1.

Na parte argilosa a montante da rocha arenítica será instalada, de igual modo, a geogrelha tridimensional. Neste caso a geogrelha não será aplicada com um tubo de drenagem. A esta intervenção dá-se o nome de hidrossementeira sobre geogrelha tipo 2.

De modo a reter partículas de material inerte ou terra, a geogrelha será instalada por uma largura mínima de 1 metro e fixada com ferros em "L". Geogrelha e tubo de drenagem serão fixados com um grampo a cada 50 cm.

A hidrossementeira será realizada em duas aplicações, de acordo com as especificações do projeto, mas compreendidas num intervalo que mediará entre as 4 e as 6 semanas.

Materiais a utilizar.

- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Fixadores
Orgânicos a base de guar ou algas (tipo Gtack-Filocalia, Fulltack-Fullservice, Vegecol-Euroseeding).
- Protetores
Palha curta, feno, turfa, ou celulose 80
- Corretivos (bioestimulantes, aditivos, adubos, etc.)
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais); Bioestimulantes tipo Biohum ou à base de algas (tipo Pronto-Atlanlusi ou Vegeplaine-Euroseeding); corretivos e aditivos biológicos do solo (tipo Agri2-Atlanlusi ou Vegemax-Euroseeding)
- Geogrelha tridimensional sintéticas
Geogrelha tridimensional de fios emaranhados de polipropileno, diâmetro 0,5 mm, em estrutura de forma bicônica, com índice de vazio >90%, com uma espessura de 18 mm de cor preta e tratados para atenuarem o ataque de raios UV (material tipo "MACMAT19").
- Grampos e pregos
Grampos de ferro dobrados em "U", diâmetro de dobragem 5 cm, diâmetro do ferro 8 mm, comprimento 30 cm, para fixarem o tubo de drenagem, 1 cada m. Ferros dobrados em "L" com um diâmetro de ferro de 8 mm, dobras de 10 cm e um comprimento de 30 cm para fixarem a geogrelha, distancia entre estes pregos 50 cm.
- Tubo de drenagem
Tubo de drenagem em polietileno perfurado com diâmetro de 5 cm
- Outro
Água para a hidrossementeira;
Terra viva proveniente das escavações no local, ou de empréstimo, para o preenchimento da geogrelha.

Pormenores.

Estes trabalhos, para tudo o que não é especificado nos parágrafos anteriores, têm enquadramento nas rubricas gerais do Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO), Capítulo 4, Integração paisagística e Medidas Minimizadoras. Nas peças desenhadas é proposto o zonamento deste tipo de intervenção, bem como o pormenor tipo desta solução.

Faixas de vegetação

Âmbito de Aplicação

Estabilização da componente argilosa do talude inferior com declive <40°, drenagem das águas de escorrência superficial.

O pano de talude Inferior ao contrário dos outros, não será reperfilado com um declive inferior ao atual. Para obter um efeito estabilizante do talude, para além do revestimento de herbáceas, que se intende implementar com a hidrossementeira, é oportuna uma estabilização com arbustivas inseridas no talude por forma a absorver também a função de drenagem das águas superficiais.

O espaçamento entre as faixas de vegetação será de 2 m; este espaçamento é uma medida padrão desta técnica que tem como objetivo a função de paragem de eventuais materiais em queda, bem como drenar às águas de escorrência.

Procedimento de execução.

Na componente argilosa do talude inferior serão escavados degraus, ou pequenos terraços, com profundidade de 0,75 m, com uma inclinação para o interior de 10° e também uma inclinação de 10° em relação à linha horizontal da encosta, a fim de facilitar a drenagem. Os degraus serão realizados no talude em linhas paralelas, inclinadas em 10° em relação à horizontal, a partir de baixo para cima, com espaçamento de 2 m.

No fundo da faixa será colocado um tubo de drenagem em polietileno furado, com diâmetro de 5 cm, devendo as águas recolhidas nestes tubos, serem devidamente encaminhadas para a valeta de plataforma existente.

Na base da escavação serão colocadas 20 estacas vivas e 5 plantas (com raízes) por metro linear de banqueteta. As estacas e as plantas têm de estar apoiadas à base do fundo da banqueteta e sair do perfil da banqueteta 10-15 cm; se as estacas saírem mais de 15 cm têm de ser cortadas até este comprimento.

As plantas, cujo corte deva ser evitado, podem ser postas em diagonal na banqueteta para absorver maiores comprimentos.

As estacas vivas serão de plantas com capacidade de reprodução vegetativa deverão ter um comprimento de pelo menos de 90 cm (10 - 20 cm mais da profundidade do degrau), e diâmetros vários, até 10 cm para espécies arbóreas, e de qualquer diâmetro, para as espécies arbustivas.

As plantas inteiras deverão ser espécies com capacidade de emitir raízes adventícias ao longo do caule enterrado. Estas serão enterradas, devendo ter de preferência uma altura do caule entre os 50 e 70 cm.

Após colocação do tubo de drenagem, das estacas e das plantas, deverão encher-se os degraus ou terraços inferiores com o material escavado. O espaço entre as estacas e as plantas deverão ser completamente preenchidos com terra de modo a evitar espaços com ar e a consequente secagem das estacas e das plantas.

Materiais a utilizar.

- Estacas vivas
Ramos e/ou estacas vivas, de plantas com capacidade de reprodução vegetativa (*Dittrichia sp.*, *Salix atrocinerea*, *Tamarix africana*) de comprimento de mínimo 90cm e vários diâmetros (até 10 cm). 20 estacas por 1 m de faixa.
- Plantas
Plantas inteiras, com capacidade de emitir raízes adventícias ao longo do caule enterrado, *Coronilla glauca*, *Viburnum tinus*, *Rosmarinus officinalis*, *Tamarix africana*, com altura da parte aérea de 50 cm pelo menos e torrão de mínimo 1,5 l, 3 plantas por m.
- Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Tubo de drenagem
Tubo de drenagem em polietileno perfurado com diâmetro 5 cm.

Pormenores.

A rubrica associada a este trabalho será alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

Sementeira com cobertura de proteção de palha

Âmbito de Aplicação

Sementeira destinada às superfícies pouco íngremes, com declive <25°, e nomeadamente a áreas entre a vala de crista, a vedação e as banquetas entre os panos, onde esta sementeira será um complemento a outras intervenções descritas no item “banqueta Viva”. O objetivo é implementar um revestimento das superfícies com plantas herbáceas.

Nas superfícies pouco íngremes não são necessários fixadores para evitar o arrancamento e o movimento das sementes em caso de chuva. Ao contrário, continua a ser um problema a fixação das plantas num terreno sem húmus. Para resolver esta situação, o espalhamento de uma cobertura de palha no terreno coloca disponível uma suficiente quantidade de biomassa, pouco onerosa, facilmente degradável e atrativa pela pedo-fauna responsável da formação do húmus. A palha possui também outras funções: é um ecrã que protege o terreno dos raios do sol, absorve humidade e mantém o terreno mais húmido por mais tempo e dificulta a predação das sementes pelos animais silváticos. Esta é a mais económica e bem-sucedida técnica de engenharia natural, em terrenos pouco declivosos.

Procedimento de execução.

Regularização da superfície com a remoção de rochas e raízes e eliminação de pequenas saliências e depressões (irregularidades de superfície).

Sementeira ao lanço com uma mistura de sementes de herbáceas

Espalhamento da palha na superfície.

Adubação e irrigação

Materiais a utilizar.

- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Protetores
Palha de caule comprido
- Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Outro
Água.

Pormenores.

Estes trabalhos, para tudo o que não é especificado nos parágrafos anteriores, têm enquadramento nas rubricas gerais do Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO), Capítulo 4, Integração paisagística e Medidas Minimizadoras.

Sementeira com esteira de palha

Âmbito de Aplicação

Sementeira destinada às superfícies mais íngremes do talude inferior, com declive $>40^\circ$, e nomeadamente, nas áreas ao lado da descida de talude com gabiões vivos, e nos panos superiores em areias aglomeradas. O objetivo é implementar um revestimento de superfícies com plantas herbáceas.

A palha é usada na engenharia natural como elemento principal para iniciar um processo de desenvolvimento de húmus em solos sem revestimento vegetal. Claramente, em taludes íngremes, este material tem que ser fixado ao talude para não ser removido com vento e chuva, com uma técnica mais fiável do que uma hidrossementeira. Em solos muito pobres, como as areias aglomeradas, a palha constitui um recurso mais abundante para o desenvolvimento de húmus. O uso da esteira de palha é uma maneira de diminuir o trabalho manual necessário à ligação da palha ao solo, com fios de sintéticos ligados a estacas pregado no terreno. A função de desenvolver o húmus é mais importante do que a proteção temporária da erosão, que será assumida pelas plantas herbáceas que se desenvolverão, por este motivo não são usados materiais mais duráveis.

Procedimento de execução.

Regularização da superfície com a remoção de rochas e raízes e eliminação de pequenas saliências e depressões (irregularidades de superfície).

Revestimento de taludes com esteira biodegradável feita de palha com peso mínimo de 400 g/m², combinada com uma rede degradável, com malha no mínimo 0,8x1 cm.

O revestimento será fixado nas extremidades, a montante e na base do talude ou declive, com pregos, em sulcos anteriormente escavados com profundidade de 20 a 30 cm e posteriormente preenchidos de terra.

A esteira embalada em rolos será desenvolvida ao longo das linhas de máximo declive e fixada no talude com prego de ferro dobrados em "U" \varnothing 8 mm, comprimento L =30 cm com uma densidade de 2 ou mais pregos por m², de modo a garantir a estabilidade e a aderência da esteira até o crescimento das herbáceas.

As esteiras adjacentes são sobrepostas pelo menos 10 cm e pregadas a cada 50 cm. A instalação do revestimento tem de ser em declives estáveis previamente regularizados e sem de pedras e raízes.

Este revestimento deve sempre ser combinado com uma sementeira ao lanço com uma mistura de sementes de herbáceas, efetuada antes do desenvolvimento da esteira. Para evitar o escorregamento em baixo das sementes e do adubo, antes da sementeira no talude, será posta palha. Depois da instalação da esteira tem que se efetuar uma rega. Em alternativa, por cima da palha pode-se espalhar o conjunto de adubo, semente e água com o hidrossemeador.

Em caso de falta de chuva no período seguinte serão efetuadas regas ditas "de socorro".

Materiais a utilizar.

- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Esteira de palha
Esteira biodegradável feita de palha com peso mínimo de 400 g/m², combinada com uma rede degradável, com malha no mínimo 0,8x1 cm (material tipo "Biomac_S", ou "Bonterra S").
- Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Outro
Palha de caule comprido
Pregos de ferro dobrados em "L" \varnothing 8 mm, comprimento L =30cm
Água.

Pormenores.

Estes trabalhos, para tudo o que não é especificado nos parágrafos anteriores, têm enquadramento nas rubricas gerais do Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO), Capítulo 4, Integração paisagística e Medidas Minimizadoras.

Plantação de arbustos

Âmbito de Aplicação

Plantação de arbustos destinada às superfícies pouco íngremes entre a parte superior do talude e a vedação (limite de propriedade). O objetivo é implementar uma maior infiltração das águas de escorrência superficial no solo em função dos aparelhos radiculares dos arbustos.

O terreno entre a vedação e o talude, mesmo sendo menos íngreme, apresenta profundos sulcos de erosão superficial. Enquanto por um lado, esta superfície é já objeto duma sementeira para instalar uma cobertura de herbáceas, por outro é oportuno aumentar a infiltração das águas superficiais através do aumento da porosidade do solo provocado pelas raízes dos arbustos, mais profundas que as das herbáceas.

Procedimento de execução.

Plantação de jovens arbustos em vasos, provenientes de viveiro, em covas de tamanho 4 vezes superior ao volume do torrão da planta, e no mínimo com 40 cm x 40 cm x 40 cm. O

terreno do local para o enchimento da cova tem que ser misturado com terra viva, e tem de se adicionar adubo. Em seguida deve ser colocado o protetor envolvendo a planta, não danificando-a, devendo este ser enterrado em 10 cm para que fique estável na vertical. A plantação deve ser feita com espaçamento de 2 m e as espécies diferentes tem que ser dispostas em mosaico, com alternância de espécies.

Materiais a utilizar.

- Jovens arbustos em torrão de viveiro
Arbustos autóctones da região, *Coronilla glauca*, *Viburnum tinus*, *Rosmarinus officinalis*, *Tamarix africana*, com certificação de origem, altura entre 30 e 80 cm e torrão de 1,5 l.
- Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Outro
Água
Protetores com 60cm de altura, 10cm de diâmetro em PEAD (material tipo "Sinorgan GAITAP 100 PE").

Pormenores.

Estes trabalhos, para tudo o que não é especificado nos parágrafos anteriores, têm enquadramento nas rubricas gerais do Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO), Capítulo 4, Integração paisagística e Medidas Minimizadoras.

Banqueta viva

Âmbito de Aplicação

Para evitar a infiltração da água no talude, a partir da água que se pode acumular nas banquetas entre os panos de talude, motivando por vezes o desenvolvimento de superfícies de rotura no talude, será implementada, por cima de cada banqueteta de estabilização uma geomembrana impermeável subjacente a uma camada de terra para permitir, por um lado, o trânsito eventual de pessoas e máquinas de serviço, e por outro, o estabelecimento de um revestimento de vegetação de proteção contra a erosão. A espessura da camada de terra vegetal é planeada de modo a impedir as plantas herbáceas de secarem antes do verão, deixando-as chegar à maturação das sementes, para que possam assegurar a renovação da cobertura com as chuvas de outono.

Uma intervenção típica nas banquetas seria uma simples sementeira com cobertura de proteção de palha, que também fará parte do conjunto das operações a realizar na banqueteta viva; esta é a forma mais comum de intervenção nas banquetas. Neste caso, dada a necessidade de impermeabilizar o topo dos panos de talude, para prevenir infiltrações que já provocaram deslizamentos na banqueteta, preconiza-se a colocação de uma geomembrana impermeável, sob uma camada de terra vegetal.

Procedimento de execução.

Na banqueteta obtida com os trabalhos de terraplenagem será colocada uma geomembrana impermeável, inclinada para a valeta de recolha das águas, desde a valeta e sobreposta a esta ao limite externo da banqueteta, onde se encontrará uma superfície já fortalecida com esteira de palha, ou hidrosementeira ou até mesmo uma superfície de rocha arenítica compacta.

Sobre esta geomembrana será colocada uma geogrelha larga 40 cm mais do dobro da largura da banqueteta. Sobre a geogrelha em correspondência da geomembrana será colocada uma camada de terra vegetal de espessura de 50 cm, no lado mais externo, e de 30 cm, no lado mais interno, inclinada para a valeta de recolha das águas, e cuja superfície será coberta pelas asas da geogrelha que serão dobradas em cima da terra e fixada com pregos de ferro dobrados em "L" Ø 8 mm, com 70 cm de comprimento e um com um espaçamento de 50 cm ao longo das orlas e de 1 m na parte central da banqueteta, com o fim de fortalecer a superfície do terreno colocado e evitar compactações localizadas da camada de terra.

Posteriormente, a geogrelha será preenchida com terra proveniente das escavações no local, ou de empréstimo, e efetuar-se-á uma sementeira com cobertura de proteção de palha.

Materiais a utilizar.

- Geomembrana
Geomembrana em polietileno de alta densidade, com superfícies lisas, resistente à radiação UV, resistência ao fogo “E”, permeabilidade à água $<1,75 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$. Espessura 0,75 mm. (material tipo “MACLINE SDH075”)
- Geogrelha tridimensional sintéticas
Geogrelha tridimensional de fios emaranhados de polipropileno, diâmetro 0,5 mm, em estrutura de forma bicónica, com índice de vazio $>90\%$, com uma espessura de 18 mm de cor preta e tratados para atenuarem o ataque de raios UV (material tipo “MACMAT19”).
- Pregos
Pregos de ferro dobrados em “L”, distancia de dobragem 10 cm, diâmetro do ferro 8 mm, comprimento 70 cm, para fixar a geogrelha. Distancia entre os pregos 50 cm na orla da banquetta, 1 m no seu interior.
- Outro
Terra viva proveniente das escavações no local, ou de empréstimo, para o preenchimento da geogrelha
- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Protetores
Palha de caule comprido
Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Outro
Água

Pormenores.

A rubrica associada a estes trabalhos não têm enquadramento nas rubricas gerais do CE, pelo que serão alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

Colchões vivos

Âmbito de Aplicação

No âmbito das intervenções previstas neste projeto, encontram-se preconizadas soluções ao nível da drenagem e reforço/contenção, nomeadamente linhas de água temporárias com pequeno declive entre a vedação e o talude, na bacia de dissipação em enrocamento, e na bacia antes da descida do talude em degraus.

Com este tipo de intervenção “colchão vivo”, pretende-se promover a instalação de uma galeria ripícola e o revestimento vegetal nestas zonas intervencionadas, de modo a limitar o transporte sólido, reduzir a velocidade da corrente de água e aumentar a capacidade de evapotranspiração do terreno.

O uso dos colchões vivos, para reduzir a velocidade e o transporte sólido de uma corrente de água é uma escolha clássica, definida segundo as definições já em uso de “Revestimento de taludes e canais em colchões de rede metálica preenchidos com material rochoso”.

Para acrescentar a eficiência desta intervenção é prática consolidada a instalação, na área adjacente ao limite do colchão, de estacas vivas de plantas ribeirinhas para acelerar a colonização dos colchões pelas plantas, que por outro lado fortalecem com as raízes o plano de fundação do colchão e contribuem para reduzir posteriormente a velocidade da corrente; neste caso específico a plantação das estacas será limitada à área lateral entre colchão e terreno, e na totalidade das paredes inclinadas do colchão será efetuada uma sementeira ao lanço, enquanto a parte mais baixa do colchão não será semeada.

Esta estrutura será aplicada a montante da descida de degraus em gabião, até à vedação, e terá portanto a mesma largura que a descida de degraus em gabião (6 m). Ficarão assim, dispostos transversalmente, dois colchões “reno” de 3x2 m, repetindo este módulo ao longo de todo o comprimento da estrutura.

Procedimento de execução.

O procedimento de execução deste tipo de intervenções (colchões, valas e bacias, etc.), encontram-se especificados no CETO (Drenagem e Obras Acessórias), fazendo também parte integrante deste projeto as peças desenhadas de pormenor destas soluções.

Neste contexto, ficam validas sem outras alterações, o que é reportado para fundações, montagem de colchões, união de colchões, especificando que neste caso se usará o geotêxtil na interface entre terreno e colchão. Aqui serão colocadas também as estacas, com as suas bases penetrando no terreno por 10 cm ou mais, e devendo ficar expostas acima da altura total do colchão. Assim, o comprimento total das estacas vivas será no mínimo de 50 cm.

Sempre que se instalem estacas, nos lados inclinados do colchão efetuar-se-á uma sementeira ao lanço com rega, ficando a sua parte central sem sementeira.

O colchão tipo “reno” deverá ser de arame revestido em PVC.

Materiais a utilizar.

- Estacas vivas
Ramos e/ou estacas vivas, de plantas com capacidade de reprodução vegetativa (*Salix atrocinerea*, *Tamarix africana*, *Alnus glutinosa*) de comprimento mínimo de 50cm e vários diâmetros (até 10 cm). A Densidade de plantação é 4 estacas por m linear na área lateral ao colchão.
- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Outro
Água.

Pormenores.

Estes trabalhos por todo quanto ligado á implementação dos colchões, e por isso sem referencias à parte “viva”, têm enquadramento nas rubricas gerais do CETO No que se refere à componente ecológica a rubrica associada a estes trabalhos será alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

Valeta viva com e sem estacas (Tipo 1 e Tipo 2)

Âmbito de Aplicação

Este tipo de intervenção, que é uma variante do “colchão vivo”, aplica-se na vala de crista do talude e nas linhas de água temporárias presentes no levantamento topográfico. A diferença desta variante está no uso da sementeira na metade superior dos lados inclinados do colchão “reno” 3x2 m, dobrado em V no seu eixo de simetria longitudinal. Ficarão assim com dois lados inclinados de 1 m com um ângulo de 120°. Nas linhas de água temporárias presentes no levantamento topográfico esta estrutura terá, à semelhança do colchão vivo, a colocação de estacas na área adjacente ao lado dos colchões “reno”, com o mesmo espaçamento de 4 estacas vivas por metro linear (tipo 1). A aplicação desta estrutura na vala de crista será feita sem a colocação de estacas na área lateral ao colchão, que não é oportuno coloca-las no limite vertical dos panos de talude (tipo 2).

Com este tipo de intervenção, pretende-se limitar o transporte sólido, reduzir a velocidade da corrente de água e aumentar a capacidade de evapotranspiração do terreno.

Esta intervenção com estacas vivas (tipo 1) aplica-se também nos colchões que constituam uma bacia de dissipação, a jusante dos degraus de pedra e madeira.

Procedimento de execução.

O procedimento de execução deste tipo de intervenções (colchões, valas e bacias, etc.), encontram-se especificados no CETO (Drenagem e Obras Acessórias), fazendo também parte integrante deste projeto as peças desenhadas de pormenor destas soluções.

Neste contexto, ficam validas sem outras alterações, o que é reportado para fundações, montagem de colchões, união de colchões, especificando que neste caso se usará o geotêxtil na interface entre terreno e colchão. Depois da instalação do colchão efetuar-se-á uma sementeira ao lanço com rega, nas porções laterais inclinadas da vala.

O colchão tipo “reno” deverá ser de arame revestido em PVC.

Materiais a utilizar.

- Mistura sementes gramíneas e leguminosas
- Adubos
Fertilizantes (NPK 10-10-10 ou mais)
- Outro
Água

Pormenores.

Estes trabalhos por todo quanto ligado á implementação dos colchões, e por isso sem referencias à parte “viva”, têm enquadramento nas rubricas gerais do CETO. No que se refere à componente ecológica a rubrica associada a estes trabalhos será alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

Escova viva

Âmbito de Aplicação

Na bacia que se forma na parte superior do talude, a montante da descida do talude em degraus, para orientar os eventuais fluxos que podem apresentar-se na superfície ao lado do enrocamento onde será implementado a técnica do colchão vivo, são preconizadas quatro alinhamentos de “escova vivas”, orientadas com um ângulo cerca de 45° em relação ao eixo do enrocamento planeado. Estas são barreiras vivas permeáveis, realizadas com a escavação dum sulco de seção retangular e com o posicionamento, vertical de estacas de salgueiro no mesmo.

A área em questão apresenta-se quase horizontal, mas devido à morfologia do terreno para além da vedação onde não é planeado intervir, recolhe fluxos superficiais que podem divagar pela área, sem encontrar rapidamente uma direção para o enrocamento que leva à descida do talude em degraus. A escova viva é uma técnica muito utilizada para direcionar correntes de fluxo em ribeiras ou linhas d’água de escorrência.

Procedimento de execução.

Para cada alinhamento de escova viva, procede-se à escavação de um sulco, com uma profundidade de 50 cm e uma largura de 20 cm, onde se colocam verticalmente estacas de salgueiro, tamargueira, amieiro, de 80 cm de comprimento e diâmetro de 5 cm até 10 cm, com uma densidade de 5 estacas por m de sulco. Em alternativa, tendo estacas mais finas, de diâmetro até 5 cm, podem ser colocados no sulco molhos de estacas sempre de 80 cm de comprimento, ligados com arame, postos uns ao lado dos outros, 5 molhos por m de sulco. O sulco é depois enchido com a terra de escavação, e eventualmente com terra viva, se necessário, para evitar vazios no enchimento, procurando sempre evitar que as estacas fiquem sem contacto com o terreno.

Materiais a utilizar.

- Estacas vivas

Estacas vivas, de plantas com capacidade de reprodução vegetativa (*Salix atrocinerea*, *Tamarix africana*, *Alnus glutinosa*) com um comprimento mínimo de 80 cm e vários diâmetros (de 5 cm até 10 cm), 5 estacas por m de sulco.

Em alternativa, podem ser utilizadas estacas com diâmetros inferiores (<5 cm), das mesmas espécies referidas, com um comprimento mínimo de 80 cm, ligadas com arame, em molhos de 20 cm de diâmetro, colocando os molhos, uns ao lado dos outros, 5 molhos por m de sulco.

- Outro

Terra viva, a misturar com a do local.

Água para molhar o terreno de enchimento do sulco, de modo de evitar vazios com ar no terreno.

Pormenores.

A rubrica associada a estes trabalhos não tem enquadramento nas rubricas gerais do CE, pelo que serão alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

Gabiões vivos

Âmbito de Aplicação

Pretende-se dotar a descida de talude em degraus de estacas vivas de plantas ribeirinhas, de modo a aumentar a capacidade de evapotranspiração do terreno, e a eficiência dos gabiões na redução da velocidade da corrente de água, bem como na diminuição da sua capacidade de erosão.

O uso dos gabiões é uma escolha clássica para construir estruturas de revestimento/suporte de taludes e para reforçar as bacias de dissipação de águas para limitar o seu poder de erosão, com enchimento menos denso neste último caso.

Para acrescentar a eficiência desta intervenção, é prática consolidada a instalação no seu interior, e na área lateral do gabião, de estacas vivas de plantas ribeirinhas, com o cuidado de não atingir as estacas e ficar em contacto com o terreno de fundação. Nesta maneira também se acelera a colonização dos gabiões pelas plantas, que de outro lado fortalecem com as raízes o plano de fundação e contribuem para reduzir ulteriormente a velocidade da corrente.

Os ensaios efetuados na torrente Wien pelo prof. Florineth, do Instituto de Engenharia Natural da BodenKultur Universitat de Viena (Áustria) ilustram como a presença densa de árvores de pequeno tamanho e de caule flexível não criam problemas na estabilização das margens dos rios, enquanto conseguem uma significativa redução da velocidade da corrente. Por esta razão as estacas que serão colocadas com saída na frente do gabiões, e praticamente apoiadas na superfície superior do gabião inferior, serão só das espécies *Salix atrocinerea* e *Tamarix africana*, árvores de pequeno tamanho e caule flexível. Na área lateral ao lado da descida, para além das duas espécies já referidas serão utilizadas também *Salix alba* e *Alnus glutinosa*, espécies que podem atingir dimensões maiores.

Os gabiões deverão ser de arame revestido em PVC.

Procedimento de execução.

O procedimento de execução dos gabiões, encontram-se especificados no CETO, nomeadamente, fica válido, sem outras alterações, o que é reportado para fundações, drenagem, montagem de gabiões, união de gabiões, terreno ou aterro confinante, especificando que, neste caso, se utilizará o geotêxtil na interface entre terreno e gabião. Só o enchimento dos colchões muda, com a integração neste subprocedimento da instalação de estacas vivas de espécies arbóreas, colocadas na base de cada gabião que compõe o piso da descida em degraus. As estacas não são postas entre os gabiões, porque ficariam danificadas pelo esmagamento devido ao peso do inteiro gabião, concentrado pela rede do gabião.

Ao contrário as estacas são instaladas em fileira, na primeira fila de malhas de base do lado vertical pelo exterior da descida e passando através do lado de base do gabião e do geotêxtil, no total em cerca de 50 cm no interior do gabião, de modo a chegar a atingir o terreno de

fundação e ficar em contacto com o terreno, no mínimo em 50 cm, como se explicita no desenho mostrado nos pormenores. As estacas saem das malhas da fila mais baixas do lado exterior do gabião com um ângulo de cerca 20° no que respeita ao plano horizontal por máximo 20 cm. O comprimento total das estacas será portanto de cerca de 1,2 m ou mais.

As estacas postas na área lateral dos gabiões serão colocadas verticalmente, entre o geotêxtil e o terreno.

Materiais a utilizar.

- Estacas vivas

Estacas vivas, de plantas arbóreas com capacidade de reprodução vegetativa (*Salix atrocinerea*, *Tamarix africana*) de comprimento de mínimo de 120 cm e vários diâmetros (de 5 cm até 10 cm). 20 estacas por cada lado externo de gabião (4 m na frente de cada gabião);

Estacas vivas de *Salix atrocinerea*, *S. alba*, *Tamarix africana*, *Alnus glutinosa*, na área lateral da descida, com densidade 4 estaca por 1 m.

Pormenores.

Estes trabalhos por todo quanto ligado à implementação dos gabiões, e por isso sem referências à parte “viva”, têm enquadramento nas rubricas gerais do CETO.

No que se refere à componente ecológica a rubrica associada a estes trabalhos será alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

Degrau em pedra e madeira

Âmbito de Aplicação

Existe uma área de erosão concentrada situada ao lado do limite Sul da vedação, com uma profundidade entre 1 e 2 metros e uma largura de 6 a 8 metros, que se pretende remodelar desfrutando dos mesmos sedimentos transportados pela água. A acumulação de sedimentos será realizada com degraus em pedra e madeira, nos quais serão também inseridas estacas vivas.

Os degraus em pedra e madeira diminuem no imediato o declive do perfil da linha d'água, constituindo barreiras permeáveis que eliminam a força erosiva da corrente e favorecem o depósito do transporte sólido. A obra tem um impacto visual agradável pela geometria dos toros de madeira que o compõem, e fica adequada para situações que precisam de obra com alturas limitadas.

Para evitar fenómenos de erosão a jusante dos degraus, será posto adjacente à sua base uma valeta viva com estacas, segundo as indicações já referidas.

Procedimento de execução.

Com uma escavação prepara-se a superfície de fundação, que entra nos lados do volume erodido, onde são assentados em dupla fila paralelas, a primeiras series de toros de madeira, tratados em autoclave para resistir ao apodrecimento, perpendiculares à direção da corrente de água, chamados “correntes”.

Perpendicular aos “correntes” se põe uma serie de toros de madeira “longitudinais” apoiados aos mesmos “correntes”, ligados com pregos de 15 mm de diâmetro, ou varas de ferro do mesmo diâmetro, pregados nos toros com o auxílio de um berbequim. A distância máxima entre os toros longitudinais será de 1 m. No espaço entre os toros são postas pedras de dimensão superior ao diâmetro dos toros, e na parte mais interna também pedras de dimensão inferior e terreno. Com a parte inferior em contacto com o terreno de fundação, ou com o terreno na área lateral do degraú, são plantadas estacas vivas. A esta primeira camada de “correntes” e “longitudinais”, são sobrepostas outras camadas ligando entre eles os toros, sempre com pregos ou varas de ferro, e enchendo o espaço entre os toros com pedras e terreno, até atingir a altura do degraú definido pelo projeto. Para melhorar a resistência às

forças que podem levar a estrutura a tombar, a estrutura pode ser construída inclinada, no sentido montante, com um ângulo de 10°. O descarregador do degrau será forrado com meios toros.

Planeia-se a implementação de 4 degraus, sendo a cota máxima 270 m e a mínima, ao pé do degrau inferior 264m. A dimensão máxima de cada degrau será de 2 m de altura total e 1,5 m de altura do descarregador, por 1,5 m de espessura longitudinal por 8 m de comprimento transversal, e a área do descarregador, estimada em função da área da secção da linha de água que tem causado a erosão, que será de 1m². No total, de momento, estima-se em acerca 80 m³ o total do volume destas estruturas.

As dimensões máximas estimadas para os degraus asseguram a estabilidade, já testada, em obras similares.

Materiais a utilizar.

- Toros de madeira, tratados em autoclave para resistir ao apodrecimento
Diâmetro dos toros entre 13 e 15 cm; comprimento mínimo dos toros 4 m, cortados nas medidas necessárias. (2 postes por m³ de degrau em pedra e madeira)
- Pregos de coligação
Pregos ou varas de ferro de 15 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento. (8 postes por m³ de degrau em pedra e madeira)
- Estacas vivas
Estacas vivas, de plantas arbóreas com capacidade de reprodução vegetativa (*Salix atrocinerea*, *S. alba*, *Tamarix africana*, *Alnus glutinosa*....) de comprimento mínimo de 120 cm e vários diâmetros (de 5 cm até 10 cm). (5 estacas por cada metro de base do de degrau em pedra e madeira).
- Outro
Pedras para enchimento, com dimensões médias superiores a 20 cm, outros inertes de dimensão menor. (0,9 m³ por cada m³ de degrau em pedra e madeira).

Pormenores.

A rubrica associada a estes trabalhos não tem enquadramento nas rubricas gerais do CETO, pelo que serão alvo de especificação nas Clausulas Técnicas Especiais.

EXCERTOS DAS PEÇAS DESENHADAS

